



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



Master Borislav Savković

MODELIRANJE FUNKCIJA OBRADIVOSTI PRI PROCESU OBRADJE GLODANJEM

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2015.



КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

| | | |
|---|--|----------------|
| Редни број, РБР: | | |
| Идентификациони број, ИБР: | | |
| Тип документације, ТД: | Монографска публикација | |
| Тип записа, ТЗ: | Текстуални штампани материјал | |
| Врста рада, ВР: | Докторска дисертација | |
| Аутор, АУ: | Борислав Савковић, дипл. инж. машинства - мастер | |
| Ментор, МН: | др Павел Ковач, редовни професор | |
| Наслов рада, НР: | Моделирање функција обрадивости при процесу обраде глодањем | |
| Језик публикације, ЈП: | Српски | |
| Језик извода, ЈИ: | Српски/Енглески | |
| Земља публиковања, ЗП: | Република Србија | |
| Уже географско подручје, УГП: | АП Војводина | |
| Година, ГО: | 2015. | |
| Издавач, ИЗ: | Ауторски репринт | |
| Место и адреса, МА: | Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6 | |
| Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога) | 9/214/177/121/173/0/3 | |
| Научна област, НО: | Машинско инжењерство | |
| Научна дисциплина, НД: | Процеси обраде скидањем материјала | |
| Предметна одредница/Кључне речи, ПО: | Обрада глодањем, обрадивост, моделирање, вештачка интелигенција, оптимизација, легура алуминијума | |
| УДК | | |
| Чува се, ЧУ: | Библиотека ФТН, Нови Сад | |
| Важна напомена, ВН: | | |
| Извод, ИЗ: | У раду је извршено експериментално истраживање процеса обраде глодањем у циљу сазнања о обрадивости легуре алуминијума добијене са два различита типа ливења. Извршено је моделирање функција обрадивости преко измерених карактеристика стања процеса: сила резања, храпавости обрађене површине, температуре у процесу резања и фактора сабијања струготине. Моделирање функција обрадивости је извршено помоћу факторног плана експеримента, као и применом вештачких неуронских мрежа и фази логике. Оптимизација улазних параметара процеса обраде глодањем спроведена је помоћу Тагучи методе. Процес глодања симулиран је помоћу метода коначних елемената. | |
| Датум прихватања теме, ДП: | 26.03.2015. | |
| Датум одбране, ДО: | ---.2015. | |
| Чланови комисије, КО: | Председник: Проф. др Марин Гостимировић, ред. професор Проф. др Лепосава Шиђанин, проф. емеритус Проф. др Миодраг Лазић, ред. професор | |
| Члан: | Проф. др Миленко Секулић, ванр. професор | Потпис ментора |
| Члан, ментор: | Проф. др Павел Ковач, ред. професор | |



KEY WORDS DOCUMENTATION

| | | |
|---|--|----------------|
| Accession number, ANO : | | |
| Identification number, INO : | | |
| Document type, DT : | Monographic publication | |
| Type of record, TR : | Textual material, printed | |
| Contents code, CC : | Doctoral Thesis | |
| Author, AU : | Borislav Savković, Master in Mechanical Engineering | |
| Mentor, MN : | Prof. dr Pavel Kovač, Ph.D. | |
| Title, TI : | Modeling of machinability functions in the milling process | |
| Language of text, LT : | Serbian | |
| Language of abstract, LA : | Serbian/English | |
| Country of publication, CP : | Republic of Serbia | |
| Locality of publication, LP : | AP Vojvodina | |
| Publication year, PY : | 2015. | |
| Publisher, PB : | Authors reprint | |
| Publication place, PP : | Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6 | |
| Physical description, PD : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small> | 9/214/177/121/173/0/3 | |
| Scientific field, SF : | Mechanical Engineering | |
| Scientific discipline, SD : | Material removal processes | |
| Subject/Key words, S/KW : | Milling, machinability, modeling, artificial intelligence, optimization, aluminum alloy | |
| UC | | |
| Holding data, HD : | FTS Library | |
| Note, N : | | |
| Abstract, AB : | <p>In this work an experimental research of the milling process were performed in order to find out the machinability of aluminum alloys which are obtained with two different types of casting procedure. Modeling of machinability functions is performed through the measured process state characteristics: cutting force, surface roughness, temperature in the cutting zone and chip compression ratio. Modeling of the machinability functions was performed using a full factorial experiment and through the model of artificial neural networks and fuzzy logic. Optimization of process input values in defined models is performed through Taguchi methods. The process of milling is simulated with finite element method</p> | |
| Accepted by the Scientific Board on, ASB : | 26.03.2015. | |
| Defended on, DE : | ---.2015. | |
| Defended Board, DB : | President: Prof. Marin Gostimirović, , Ph.D. Emeritus Prof. Lepasava Šiđanin, Ph.D. Prof. Miodrag Lazić, , Ph.D. | |
| Member: | Assoc. Prof. Milenko Sekulić, Ph.D. | Menthor's sign |
| Member, Mentor: | Prof. Pavel Kovač, Ph.D. | |

ZAHVALNOST

Pre svega zahvaljujem se mentoru, Prof. dr Pavelu Kovaču za svesrdnu pomoć tokom izrade ove doktorske disertacije, kao i na podsticaju i podršci tokom svih godina studija i istraživačkog rada. Zahvalan sam mu što mi je svojim stručnim savetima pružio podršku da uspešno dođem do cilja.

Zahvaljujem se i članovima Komisije prof. dr Marinu Gostimiroviću, prof. dr Miodragu Laziću i vanr. prof. dr Milenku Sekuliću na izuzetno korisnim sugestijama i savetima, koji su mi puno pomogli u kreiranju finalne verzije doktorske disertacije.

Veliko hvala dugujem i Profesorici Leposavi Šiđanin i njenom najbližem saradniku dr Draganu Rajnoviću na pomoći prilikom eksperimentane analize materijala korišćenog pri izradi ovog rada.

Svoju zahvalnost dugujem i članovima matične Katedre za procese obrade skidanjem materijala, koji su mi izlazili u susret u svakom momentu kako pri eksperimentalnom radu tako i pri izvođenju nastavnih aktivnosti u momentima kad mi je falilo vremena, a toga je bilo dosta često.

Zahvaljujem se svima koji su ustupanjem opreme, stručnim savetima, ličnim angažovanjem u toku eksperimentalnog rada i na bilo koji drugi način doprineli pri izradi ove disertacije.

Na kraju, zahvalnost dugujem i supruzi Sanji i ćerki Aksinji za pruženu podršku i odricanja kroz koja su morale proći tokom izrade disertacije.

PREGLED KORIŠĆENIH OZNAKA:

| | |
|-----------|---|
| a | - dubina rezanja |
| b | - širina glodanja |
| v | - brzine rezanja |
| F_a | - aksijalna sila |
| F_g | - glavna sila rezanja |
| F_m | - zatezna sila |
| F_p | - sila prodiranja |
| F_r | - radijalna sila |
| HB | - tvrdoća po Brinelu |
| HV | - tvrdoća po Vickersu |
| r | - radijus vrha alata |
| R_a | - srednja aritmetička hrapovost neravnina |
| R_{max} | - maksimalna visina neravnina |
| R_z | - srednja visina neravnina |
| R_q | - srednje kvadratno odstupanje profila |
| R_m | - zatezna čvrstoća |
| s_1 | - pomak po zubu |
| ϕ | - ugao ravni smicanja |
| γ | - grudni ugao |
| λ | - faktor sabijanja strugotine |
| θ | - temperatura rezanja |
| ψ | - ugao nagiba teksture zrna |

PREGLED KORIŠĆENIH SKRAĆENICA:

| | |
|-------------|---|
| A/D | - Analogno - digitalni pretvarač |
| ANFIS | - Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (adaptivni neuro-fazi sistem zaključivanja) |
| ANOVA | - Analiza varijacija |
| BSE | - Back Scattered Electron (povratno rasejani elektroni) |
| BUE | - Built Up Edge (naslaga u korenu strugotine) |
| CAD | - Computer Aided Design (računarom podržano projektovanje) |
| CBN | - Kub-bornitrid |
| D/A | - Digitalno - analogni pretvarač |
| DAQ sistem | - Data Acquisition System (sistem za akviziciju podataka) |
| DoE | - Design of Experiments (dizajn plana eksperimenta) |
| DP | - Dijamantska pasta |
| E | - Eutektikum |
| EDS | - Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (energo disperziona spektroskopija) |
| FEM | - Finite Element Method (metod konačnih elemenata) |
| FIS | - Fuzzy Inference System (fazi sistemi zaključivanja) |
| FL | - Fazi logika |
| HSC | - High Speed Cutting (obrada visokim brzinama rezanjem) |
| MA | - Materijal alata |
| MKE | - Metod konačnih elemenata |
| MO | - Materijal obrade |
| NI USB-6009 | - Višefunkcionalni modul za akviziciju podataka |
| SEM | - Skening elektronski mikroskop |
| SM | - Svetlosni mikroskop |
| S/N | - Signal to Noise (uticaj šuma na ciljnu funkciju procesa) |
| SSM | - Semi Solid Metal (rastopljeni metal u polu tečnom stanju) |
| TM | - Tvrdi metal |
| USB | - Universal Serial Bus (univerzalna serijska magistrala) |
| VI | - Veštačka inteligencija |
| VNM | - Veštačka neuronska mreža |
| VI | - Virtual Instruments (virtualni instrument) |

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1.0. UVOD | 1 |
| 1.1. Uvodne napomene | 1 |
| 1.2. Problemi istraživanja | 3 |
| 1.3. Ciljevi istraživanja | 4 |
| 1.4. Metodologija istraživanja | 5 |
| 1.5. Polazne hipoteze | 6 |
| 1.6. Očekivani rezultati | 6 |
| 1.7. Sadržaj disertacije | 7 |
| | |
| 2.0. TEORIJSKE OSNOVE I PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA | 8 |
| 2.1. Obradivost materijala pri obradi rezanjem | 8 |
| 2.2. Aluminiyum i njegove legure | 11 |
| 2.2.1. Postupak dobijanja SSM mikrostrukture | 13 |
| 2.3. Proces nastajanja strugotine | 15 |
| 2.4. Proces obrade glodanjem | 20 |
| 2.4.1. Sile rezanja | 21 |
| 2.4.2. Temperatura u zoni rezanja | 24 |
| 2.4.3. Hrapavost obrađene površine | 25 |
| 2.5. Modeliranje procesa primenom višefaktornog plana eksperimenta - DoE | 29 |
| 2.5.1. Trofaktorni planovi drugog reda | 31 |
| 2.5.1.1. Centralni kompozicioni planovi drugog reda | 31 |
| 2.5.1.2. Regresiona analiza | 32 |
| 2.5.1.2.1. Kodiranje i izbor faktora eksperimenta | 33 |
| 2.5.1.2.2. Određivanje koeficijenta regresije | 34 |
| 2.5.1.2.3. Dekodiranje trofaktornog modela drugog reda | 36 |
| 2.5.1.3. Disperziona analiza | 37 |
| 2.5.1.4. Ocena tačnosti matematičkog modela | 38 |
| 2.6. Primena veštačke inteligencije u procesima obrade rezanjem | 39 |
| 2.6.1. Veštačke neuronske mreže | 40 |
| 2.6.2. Fazi logika | 44 |
| 2.7. Optimizacija parametara procesa obrade primenom Tagučij metode | 49 |
| 2.7.1. Primer optimizacije podataka pomoću ANOVA analize | 54 |
| 2.8. Metoda konačnih elemenata u oblasti obradnih procesa | 61 |
| 2.8.1. Analiza pomoću konačnih elemenata | 61 |
| 2.8.2. MKE u statički i dinamički nosećih struktura | 63 |
| 2.8.3. MKE u oblasti procesa rezanja | 64 |
| 2.8.4. Analiza programskih paketa | 65 |
| | |
| 3.0. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA | 67 |
| 3.1. Opis eksperimenata pri čeonom glodanju | 67 |
| 3.1.1. Realizacija merno-akvizicionog sistema za merenje sila i temperature rezanja | 70 |
| 3.1.2. Uređaj za merenje površinske hrapavosti „MARSURF PS1” | 81 |
| 3.2. Opis eksperimenata pri obimnom glodanju | 83 |
| 3.3. Rezultati eksperimentalnih ispitivanja | 88 |
| 3.3.1. Ispitivanje legure aluminijuma 7075 | 88 |
| 3.3.2. Eksperimentalno ispitivanje karakteristika obradivosti | 98 |

| | |
|---|-----|
| 4.0. MODELIRANJE PROCESA OBRADJE GLODANJEM | 104 |
| 4.1. Model trofaktornog plana eksperimenta procesa obrade glodanjem | 104 |
| 4.1.1. Model glavne sile rezanja pri čeonom glodanju KL legure | 105 |
| 4.1.2. Model sile prodiranja pri čeonom glodanju KL legure | 106 |
| 4.1.3. Model temperature u zoni rezanja pri čeonom glodanju KL legure..... | 107 |
| 4.1.4. Model srednje aritmetičke hrapavosti obrađene površine pri čeonom glodanju KL legure.. | 108 |
| 4.1.5. Model maksimalne visine neravnina obrađene površine pri čeonom glodanju KL legure..... | 109 |
| 4.1.6. Model glavne sile rezanja pri čeonom glodanju SSM legure..... | 110 |
| 4.1.7. Model sile prodiranja pri čeonom glodanju SSM legure..... | 111 |
| 4.1.8. Model temperature u zoni rezanja pri čeonom glodanju SSM legure.. | 112 |
| 4.1.9. Model srednje aritmetičke hrapavosti obrađene površine pri čeonom glodanju SSM legure..... | 113 |
| 4.1.10. Model maksimalne visine neravnina obrađene površine pri čeonom glodanju SSM legure.. | 114 |
| 4.1.11. Model faktora sabijanja strugotine pri obimnom glodanju KL legure.. | 115 |
| 4.1.12. Model ugla nagiba teksture zrna pri obimnom glodanju KL legure.. | 116 |
| 4.1.13. Model faktora sabijanja strugotine pri obimnom glodanju SSM legure | 117 |
| 4.1.14. Model ugla nagiba teksture zrna pri obimnom glodanju SSM legure.. | 118 |
| 4.2. Realizacija modela uz pomoć metoda veštačke inteligencije.. | 119 |
| 4.2.1. Realizacija neuronske mreže..... | 121 |
| 4.2.2. Realizacija modela fazi logike - „ <i>mamdani</i> “ tip..... | 125 |
| 4.2.3. Prikaz rezultata dobijenih pomoću neuronskih mreža i „ <i>mamdani</i> “ modela..... | 132 |
| 5.0. OPTIMIZACIJA PARAMETARA PROCESA OBRADJE GLODANJEM | 145 |
| 5.1. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji glavne sile rezanja KL legure | 145 |
| 5.2. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji sile prodiranja KL legure.. | 147 |
| 5.3. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji temperature u zoni rezanja KL legure.. | 150 |
| 5.4. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji srednje aritmetičke hrapavosti obrađene površine KL legure..... | 152 |
| 5.5. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji maksimalne visine neravnina obrađene površine KL legure..... | 154 |
| 5.6. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji glavne sile rezanja SSM legure | 157 |
| 5.7. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji sile prodiranja SSM legure.. | 159 |
| 5.8. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji temperature u zoni rezanja SSM legure..... | 161 |
| 5.9. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji srednje aritmetičke hrapavosti obrađene površine SSM legure..... | 163 |
| 5.10. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji maksimalne visine neravnina obrađene površine SSM legure.. | 165 |

| | |
|--|-----|
| 6.0. SIMULACIJA PROCESA OBRADE ČEONOG GLODANJA POMOĆU METODE KONAČNIH ELEMENATA | 168 |
| 6.1. Modeliranje procesa čeonog glodanja | 170 |
| 6.1.1. Izrada geometrijskog modela.. | 170 |
| 6.1.2. Definisane svojstava materijala..... | 170 |
| 6.1.3. Uvoz modela..... | 170 |
| 6.1.4. Definisane parametara za simulaciju..... | 171 |
| 6.1.5. Definisane tipa analize i graničnih uslova..... | 173 |
| 6.1.6. Definisane toplotnog opterećenja..... | 174 |
| 6.2. Simulacija procesa glodanja..... | 174 |
| 6.2.1. Simulacija 1..... | 174 |
| 6.2.2. Simulacija 2..... | 178 |
| 6.2.3. Simulacija 3..... | 180 |
| 7.0. ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA | 182 |
| 7.1. Analiza obradivosti legure aluminijuma 7075..... | 182 |
| 7.2. Analiza zavisnosti eksperimentalnih veličina kao mera obradivosti..... | 190 |
| 7.3. Analiza rezultata dobijenih putem različitih metoda (DoE, VNM, FL)..... | 195 |
| 8.0. ZAKLJUČCI | 203 |
| 9.0. LITERATURA | 206 |
| PRILOG 1 - Parametri sila rezanja u funkciji vremena t, odnosno ugla φ | |
| PRILOG 2 - Mikroskopski snimci zone razanja kod uzoraka | |
| PRILOG 3 - Faktorini planovi eksperimenta | |

1.0. UVOD

1.1. Uvodne napomene

Postupci obrade metala rezanjem predstavljaju proces oblikovanja (promene oblika, dimenzija, hrapavosti obrađene površine i karakteristika površinskog sloja) uklanjanjem viška materijala mehaničkim dejstvom reznog alata na predmet obrade. Prema podacima CIRP-a (College International pour la Recherche en Productique), 50% ukupne proizvodnje odnosi ce na obradu skidanjem materijala. Shodno procentulanoj vrednosti ukupne zastupljenosti obrade materijala u proizvodnim procesima, nameće se želja za sve većim naučnim doprinosima u ovoj oblasti. Nepoznanica pred kojom se svakako nalaze procesi koji se bave obradom skidanjem materijala je obradivost novih materijala. Različite tehnike veštačke inteligencije, od ekspertskih sistema, veštačkih neuronskih mreža, fazi logike, genetskih algoritama i genetskog programiranja kao i ostale tehnike modeliranja našle su svoju primenu u ovom području, uz određivanje vrednosti optimizacije parametara obrade nad postojećim konvencionalnim procesima koji se bave skidanjem materijala.

Brz industrijski napredak, paralelno sa razvojem nauke, stvorio je osnovu za dalji razvoj nauke o procesima obrade skidanjem materijala. Kroz ovaj rad se želi pokazati mogućnost primene veštačkih neuronskih mreža i fazi logike pri obradi glodanjem, kao jednog od najzastupljenijih procesa obrade.

Nameće se potreba da se procesi obrade unaprede primenom znanja iz naprednih tehnika modeliranja, odnosno simulacija, gde svakako spada i modeliranje uz pomoć metoda veštačke inteligencije. Ovako dobijeni modeli služe za analizu, upravljanje i izbor optimalnih parametara procesa, koji predstavljaju sliku složenih odnosa između ulaznih i izlaznih parametara procesa glodanja. Dobijeni modeli se mogu sa dovoljnom tačnošću iskoristiti u adaptivnom upravljanju i nadgledanju procesa i donošenju rešenja u realnom vremenu, a što je od velike važnosti u eksploataciji inteligentnih proizvodnih sistema. Takođe moguće je izvršiti optimizaciju ulaznih parametara procesa na osnovu postavljenih ograničenja obrade, a s ciljem ostvarenja jedne ili više funkcija cilja kao što su smanjenje otpora rezanja i/ili minimizacija hrapavosti obrađene površine, koje sa tehničkog gledišta imaju najveću praktičnu vrednost i značenje.

Intezivnim razvojem industrijske proizvodnje u svetu javljala se potreba za obimnim istraživanjima u svim oblastima, pa tako i u oblasti obrade metala skidanjem strugotine. Istraživanja u ovoj oblasti su doprinela razvoju novih vrsta: materijala za alate, materijala obratka, mašina, alata, pribora, sredstava za hlađenje i podmazivanje, itd.

Glodanje, kao jedan od najsloženijih procesa obrade rezanjem, nalazi primenu pri obradi delova složene geometrije gde je potrebno postići odgovarajući kvalitet obrađene površine uz što manje otpore rezanja pri skidanju materijala. Visoki zahtevi koji se postavljaju u pogledu kvaliteta obratka stvaraju niz teškoća i problema, koji sprečavaju optimalno korišćenje alata i mašine alatke, tj. određivanje optimalnih režima obrade, utvrđivanje racionalne postojanosti glodala, utvrđivanje što povoljnije geometrije korena strugotine itd.

Efektivna upotreba alata u uslovima proizvodnje često je usporena zbog odsustva naučno zasnovanih preporuka o izboru optimalnih parametara režima obrade. Najčešće se određivanje parametara režima obrade izvodi prema preporučenim podacima, a ređe se koriste specijalno razrađene strukture.

Shodno potrebama u proizvodnim sistemima, sve veći je interes za razvoj specijalizovanih jedinica, službi, ustanova koje se bave sakupljanjem, obradom i širenjem informacija o režimima pri procesu obrade. Prave se takozvane baze podataka gde glavni izvor informacija predstavljaju radna iskustva, rezultati eksperimenata, preporuke preduzeća koja proizvode alate za obradu rezanjem, standardi i istraživačke ustanove koje se bave obradom metala rezanjem.

Produktivnost, odnosno efikasnost obrade metala rezanjem jeste jedan od osnovnih smerova razvoja savremenog mašinstva. Danas se u mašinogradnji koriste različite vrste materijala od kojih preko 90% spada u grupu metala i njihovih legura. Najčešće korišteni materijal je čelik koji u gruboj definiciji predstavlja leguru železa s ugljenikom i drugim elementima. Od željeznih legura se koriste i livovi: sivi, temperirani, čelični. Od ostalih metala najčešće se koriste aluminijum, bakar, titanijum, nikl, hrom, magnezijum, cink i njihove brojne legure.

Sa stanovišta obrade skidanjem materijala vrlo je važno za svaki materijal znati njegovu obradivost. Obradivost materijala je kompleksan pojam, to svojstvo se ne može jednostavno meriti i ne može se karakterisati nekim brojem kojim bi se to svojstvo materijala označavalo.

S obzirom na značaj parametara režima pri procesu obrade glodanjem kao i vrste materijala na kojoj se vrši obrada, istraživanje u okviru ovog rada usmereno je ka primeni veštačke inteligencije u cilju određivanja optimalnih parametara glodanja za date materijale obrade. Takođe istraživanje predviđa ispitivanje značajnosti geometrijskih parametara korena strugotine na izlazne karakteristike obrade i traženje optimalne vrednosti za hrapavost obrađene površine i otpore pri rezanju materijala.

U savremenoj proizvodnji prisutan je neprekidan zahtev za povećanjem ekonomičnosti obrade. U procesu obrade skidanjem materijala stalno se inoviraju proizvodna oprema i materijali za obradu rezanjem. Novi materijali zahtevaju produktivnije mašine alatke, a modernije mašine alatke dozvoljavaju primenu kvalitetnijih alata za obradu rezanjem. Sa kvalitetnijim alatima postižu se dva cilja:

1. Smanjenje glavnog vremena izrade kroz povećanje brzine rezanja i pomaka.
2. Postizanje definisanog kvaliteta obrađene površine u pogledu tačnosti, hrapavosti i termičkih promena u površinskom sloju.

Kod osnovnih procesa obrade skidanjem materijala, kao što su struganje, bušenje i glodanje, dosadašnja intenzivna istraživanja u mnogim slučajevima omogućila su primenu optimalnih uslova obrade. Međutim, optimalni uslovi obrade glodanjem još uvek su teško dostupni za nove materijale. Shodno tome potrebno je napraviti nove baze znanja koje bi obuhvatile i optimalne parametare obrade novih materijala. Pored toga, potrebno je napomenuti da neke baze znanja ne uzimaju u obzir geometrijske parametre korena strugotine koji sigurno utiču na izlazne veličine pri obradi, kao što i sami raznorodni materijali obrade utiču na geometrijske parametre korena strugotine. Kod glodanja znatno veći broj parametara utiče na proces rezanja, nego što je to kod struganja i bušenja.

Iako se već pojavilo dosta radova iz oblasti i procesa obrade skidanjem materijala glodanjem, samo je manji broj istraživača svoje radove posvetio razrešavanju prethodno spomenutih problema. Većina radova orijentisana je na eksperimentalno određivanje otpora rezanja i donekle na analitičko opisivanje procesa glodanja.

1.2. Problemi istraživanja

Veliki broj istraživanja koje se izvode u oblasti koje pokriva mašinsko inženjerstvo i koja su do sada urađena su dala svoj doprinos u polju nauke. Shono činjenici da se nauka neprekidno menja i razvija odnosno da predstavlja vodeću snaga društvenog napretka, svakako je potrebno dati svoj doprinos u oblastima gde je neophodno izvršiti dodatne analize. Prvenstveno se tu misli na nedovoljno jasno definisane ciljeve, uz ograničenja koja nosi određeni procesi koji se odvijaju u mašinstvu. Tako imamo primere da međusobne relacije parametara koje se proučavaju uz druge uticaje koji su izvan sistema nisu adekvatno definisani. Takođe, može se reći da za svaki problem na koji se naiđe treba naći dovoljno dobro alternativno rešenje koje bi imalo svoju primenu u datom momentu. Stoga je proces definisanja problema od ključnog značaja i on predstavlja najteži korak u procesu naučnog istraživanja, a prepoznavanje mogućnosti promene na bolje je najkreativniji deo u procesu naučnog istraživanja i primeni naučnog metoda.

Za svako istraživanje koje ima jasno definisane probleme i kvalitetno postavljene ciljeve može se reći da je potrebno odnosno neophodno. Modeliranje, upravljanje i na kraju optimizacija procesa glodanja koje je izvršeno u ovom radu je opravdano, naročito kada se uzme u obzir da se istraživanja izvode na relativnonovim, odnosno nedovoljno istraživanim materijalima.

Konkretni problemi kojima se bavi ovaj rad se odnose na detaljnu analizu obradivosti materijala dobijenih novim načinom livenja, odnosno materijala za koje istraživači, odnosno institucije koje se bave ispitivanjem obradivosti nisu do sada dali odgovarajuće odgovore. Parametre kojima se definiše obradivost materijala treba prikazati najboljim mogućim modelima, koji u pogledu tačnosti daju namanju moguću grešku. Postavljanje i realizacija izrade modela koji adekvatno opisuju parametre obradivosti određenog materijala je problem koji se postavlja kao izazov za naučna istraživanja. Istraživači koji se bavi realizacijom modela obradivosti treba da vode računa da pri modeliranju određenih funkcija obradivosti treba da daju i alternativna rešenja. Ovakva rešenja se primenjuju u slučaju da primarno ponuđeni modeli nisu nisu razumljivi u određenim inženjerskim procesima koji se bave ispitivanjem obradivosti materijala. U tu svrhu je potrebno razviti adekvatne modele koji bi povezali izlazne karakteristike procesa obrade glodanjem sa ulaznim parametrima na koje možemo uticati prilikom projektovanja tehnološkog postupka obrade nekog obratka.

Problem u istraživanju na koji se takođe nailazi, a koji je uvek aktuelan u procesima koji se bave obradom materijala, je svakako optimizacija parametara koji utiči na veličine kojima se definiše povoljna odnosno nepovoljna obradivost materijala. Veliki broj naučnih radnika je dao svoje predloge i svoja rešenja za traženje najpovoljnije postavke sistema sa planom realizacije koja donosi najmanje gubitke, odnosno najveću dobit. Izbor i primena adekvatnog modela optimizacije na proces koji se bavi obradom glodanjem se takođe nameće u ovom radu kao problem koji treba razmotriti. Shodno predhodnom, jedan od problema je svakako i određivanje vrednosti ulaznih parametara procesa obrade u zavisnosti od funkcije cilja, odnosno izlazne karakteristike procesa obrade glodanjem.

Svakim danom u proizvodnim sistemima u kojima se nalaze inženjeri se u sve većem obimu primenjuju računarski resursi. Uporedno sa razvojem računarskih resursa razvijaju se i softveri koji svoju primenu nalaze u mašinskom inženjerstvu. Proizvodni procesi koji se zasnivaju na planiranju, kontroli i upravljanju pojednostavljaju i smanjuju pojavu greške pri izradi odgovarajućih proizvoda ukoliko imaju instalisane sisteme za adaptivno predviđanje. Ovi sistemi su uglavnom izrađeni na principu metode konačnih elemenata, gde se razlikuju sistemi za 2D modeliranje i sistemi za 3D modeliranje. Konkretno u procesima koji se bave obradom

skidanjem materijala za sada ne postoje odgovarajući 3D modeli koji adekvatno opisuju proces obrade glodanjem. Shodno tome nameće se potreba za realizacijom 3D modela koji bi našli svoju primenu u industrijskim sistemima. Ovakvi proizvodni sistemi moraju biti opremljeni i odgovarajućim softverskim paketima.

1.3. Ciljevi istraživanja

Osnovni cilj ovog istraživanja je sticanje novih informacija o obradivosti legure aluminijuma livene na dva načina a obrađene pri procesu obrede glodanjem. Na temelju takvih informacija dobijenih ovim istraživanjem, razviće se opšti modeli i izvršiti optimizacija režima rezanja i geometrije korena strugotine pri glodanju.

Takođe, jedan od osnovnih ciljeva istraživanja je da se u sklopu prikupljanja geometrijskih parametara korena strugotine pokaže značaj različite mikrostrukture materijala na funkcije obradivosti (sile rezanja, temperature u zoni kontakta, hrapavost obrađene površine) i na izlazne geometrijske parametre korena strugotine.

Naredni cilj istraživanja je dobijanje dovoljno pouzdanih matematičkih modela faktornim planom eksperimenta za otpore rezanja, temperaturu u zoni kontakta i izabrane parametre hrapavosti obrađene površine pri obradi glodanjem, u zavisnosti od ulaznih parametara procesa: dubine rezanja, brzine rezanja i pomaka po zubu.

Kao sledeći cilj u istraživanju je dobijanje dovoljno pouzdanog matematičkog modela za faktor sabijanja strugotine, ugla nagiba teksture zrna, kao geometrijskih veličina koje opisuju koren strugotine, a sve to opet u zavisnosti od ulaznih parametara procesa glodanja: širine glodanja, brzine rezanja i pomaka po zubu.

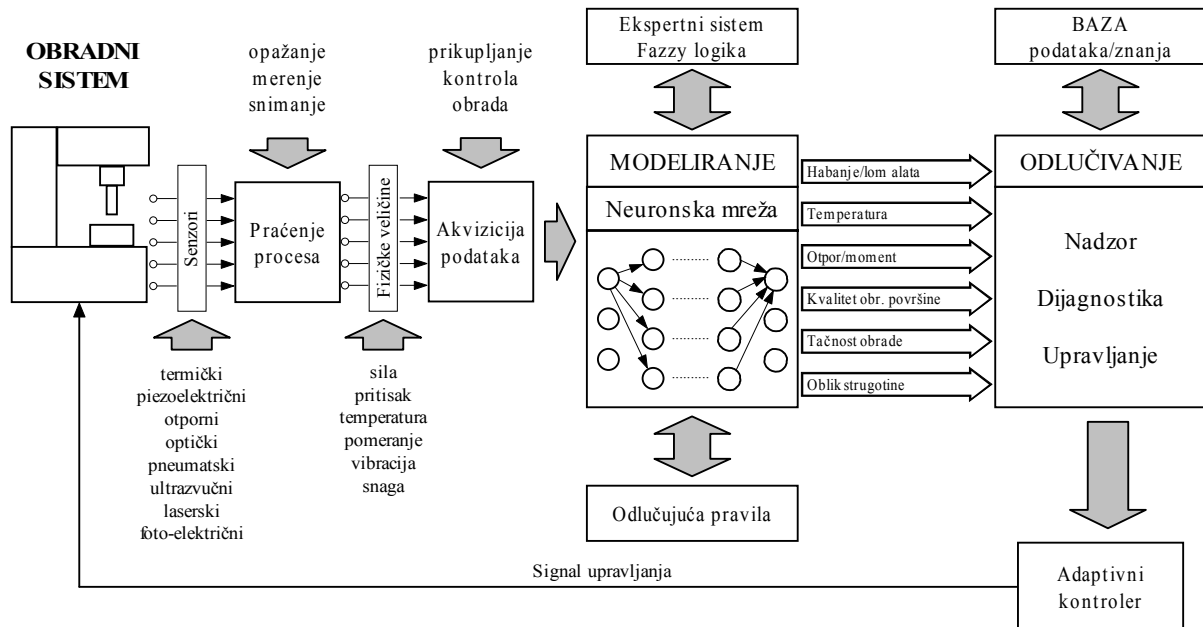
Cilj istraživanja je takođe i primena metoda i tehnika veštačke inteligencije koje će zajedno sa modeliranjem, simuliranjem i optimizacijom proizvodnih procesa dovesti do generisanja novih i boljih rešenja u toku proizvodnje. Njihovom primenom dolazi do razvoja inteligentnih obradnih sistema koji automatizovano obavljaju kompleksne proizvodne probleme, oslobađajući čoveka ne samo fizičkog već i intelektualnog rada, prepuštajući mu rad na ekspertnim i kreativnim poslovima.

Shodno predhodnom, može se definisati da je još jedan od ciljeva istraživanja mogućnost primene metoda veštačke inteligencije u svrhu modeliranja funkcija obradivosti pri obradi glodanjem, kao i analiza tačnosti dobijenih modela, u odnosu na rezultate dobijenih eksperimenata kao i na rezultate dobijene pomoću modela koji su realizovani primenom metode višefaktornog plana.

Definisanjem modela stvaraju se uslovi za predikciju odgovarajućih veličina obradivosti, koji omogućavaju tehnologu ili CNC programeru da izabere odgovarajuće režime obrade daleko pre aktuelne obrade. Poznavanjem ovih veličina obradivosti stiču se uslovi da se ostvari adaptivno upravljanje obradnim sistemima. Na slici 1.1. data je šema inteligentnog upravljanja i praćenja procesa obrade. Sa slike se vidi da centralni deo u sistemu zauzima deo za akviziciju i prikupljanje podataka.

Shodno tome, kao naredni cilj se nameće razvoj adekvatnog merno akvizicijskog sistema koji će izvršiti prikupljanje i snimanje podataka. Konkretno sistem koji se predviđa pri realizaciji ovog zadatka treba da izvrši akviziciju podataka za tri ortogonalne sile rezanja kao i za temperaturu u zoni kontakta na mestu gde je postavljen odgovarajući termopar. Ovaj merno akvizicijski sistem treba da zadovolji i u pogledu tačnosti izmerenih veličina obradivosti, vodeći računa da signali i veličine prikupljene sa odgovarajućih senzora nisu u jedinicama iz SI sistema.

Shodno tome, neophodno je izvršiti prevođenje ovih prikupljenih signala u merne veličine iz SI sistema, tj. u izraziti ih u vrednostima koje se koriste ispitivanom procesu obrade.



Slika 1.1. Monitoring i upravljanje procesom obrade [1]

Takođe može se reći da je i jedan od ciljeva da se izvrši optimizacija parametara procesa obrade glodanjem primenom Tagučijevog metoda, koji polazi od novog sistema planiranja eksperimenta, tkz. ortogonalnih nizova. Upravo ova metoda za modeliranje i optimizaciju, koristiti svoju stohastičku prirodu koja je pogodna za ovakve višefunkcijske optimizacijske probleme unutar pretraživanog prostora mogućih rešenja.

Kao naredni cilj u istraživanju nameće se potreba za postavljanjem modela korena strugotine pomoću metoda konačnih elemenata u cilju adaptivnog predviđanja temperature u zoni rezanja kao i predviđanje oblika strugotine.

1.4. Metodologija istraživanja

Metodologija istraživanja predstavlja način ispitivanja koji svaka nauka prelazi u traganju za odgovorom na pitanje koje je postavila. U ovom istraživanju planirano je da se obavi modeliranje i optimizacija režimskih i geometrijskih parametara procesa obrade glodanjem primenom metoda veštačke inteligencije (modeliranje uz pomoć neuronskih mreža i fazi logike), modeliranje analitičkim metodama zasnovanim na rešavanju faktornog plana eksperimenta, kao i optimizacija režimskih i geometrijskih parametara uz pomoć matematičkih metoda (Tagučijev metoda). Takođe planira se istraživanje i primena metode konačnih elemenata na izabrani proces, tj. promene u procesu nastajanja korena strugotine.

Zbog toga, u radu se pristupa analizi parametara procesa obrade glodanjem sa aspekta teorijskog i eksperimentalnog istraživanja. Pored ovih metoda istraživanja u radu se primenjuju i druge metode saznanja kao što su analiza, sinteza i indukcija.

1.5. Polazne hipoteze

Pri modeliranju funkcija obradivosti pri procesu obrade glodanjem, pošlo se od sledećih hipoteza:

- *Pretpostavlja se da se mogu realizivati dovoljno pouzdani modeli uz traženje optimalnih parametara procesa obrade čeonog glodanja (brzine rezanja, dubine rezanja, pomaka po zubu) a sve u cilju moguće minimizacije izlaznih karakteristika (sile rezanja, temperature u zoni kontakta, parametara hrapavosti obrađene površine) za postavljena ograničenja procesa obrade.*
- *Pretpostavlja se da se mogu realizivati dovoljno pouzdani modeli uz traženje optimalnih parametara procesa obrade obimnog glodanja (brzine rezanja, širine glodanja, pomaka po zubu) a sve u cilju moguće minimizacije izlaznih karakteristika (faktor sabijanja strugotine, ugao nagiba teksture zrna ψ) za postavljena ograničenja procesa obrade.*
- *Pretpostavlja se da različiti načini livenja legure aluminijuma utiču na mikrostrukturu materijala, a samim tim i na obradivost izraženu preko izlaznih karakteristika procesa obrade glodanjem (sile rezanja, temperatura u zoni kontakta, hrapavost obrađene površine i geometrijske parametre korena strugotine).*
- *Pretpostavlja se da je moguće realizovati model uz pomoć metoda konačnih elemenata koji će adekvatno predviđati temperaturu u zoni rezanja kao i oblik dobijene strugotine a sve u odnosu na eksperimentalno dobijene rezultate.*

1.6. Očekivani rezultati

U okviru rada očekuje se da detaljna teoretska analiza potkrepljena eksperimentalnim istraživanjima pokaže i mogućnost primene novih metoda na proces obrede glodanjem.

Takođe očekuju se nova saznanja o karakteristikama obradivosti materijala dobijenih novim načinom livenja, a za koja još ne postoje dovoljno pouzdane informacije o njegovoj obradivosti, čime će se doprineti da tehnolozi i projektanti pri odabiru konstrukcionih materijala imaju veći dijapazon izbora materijala.

Modeliranjem, upravljanjem i na kraju optimizacijom parametara procesa i veličina koje definišu parametre obradivosti kao i geometriju korena strugotine očekuje se da se postignu rezultati koji omogućavaju predviđanje uticaja pojedinih ulaznih parametara za data ograničenja i funkciju cilja. Takođe se očekuje da modeli razvijeni uz pomoć altaki veštačke inteligencije (neuronske mreže, fazi logike) imaju praktičnu primenu u industriji, i da tako dobijeni rezultati istraživanja dobijaju na značajnosti, odnosno da se kao takvi mogu integrisati u proizvodne sisteme u okviru kojih su zastupljene mašine altake sa integrisanom memorijom za bazu znanja.

Očekuje se naučni doprinos u delu modeliranja istraživanog procesa na osnovu originalnih eksperimentalnih rezultata i definisanju originalnih matematičkih modela dobijenih na osnovu analize zadatog plana eksperimenta. Očekuje se njihov značaj u samoj verifikaciji modela veštačke inteligencije. Tako verifikovani modeli veštačke intaligencije mogu biti ugrađeni u same proizvodne sistema ali i u računarske sisteme koji se zasnivaju na metodama konačnih elemenata u cilju predviđanja određenih parametara čije se merenje izvodi u eksperimentalnom istraživanju (temperatura, otpori rezanja i hrapavost obrađene površine).

Mogućnost primene modela simulacije procesa glodanja, napravljenog na principima metoda konačnih elemenata, je veoma značajno. Razvojem ovakvih simulacija otvara se nova naučna grana koja svoje temelje koristi u svrhu adaptivno predviđanja procesa. Očekuje se razvoj simulacije koja će adekvatno predstavljati temperaturu u zoni rezanja kao i oblika strugotine, uz mogućnost dalje nadogradnje.

1.7. Sadržaj disertacije

Problematika razvoja modeliranja funkcija odradivosti pri procesu obrade glodanjem izneta je u devet poglavlja u kojima je hronološki dat prikaz, razrada i rešenje postavljenog zadatka.

U *prvom poglavlju* ukratko su predstavljeni problemi i ciljevi istraživanja, polazne hipoteze, metodologija istraživanja i sadržaj disertacije.

Drugo poglavlje je podeljeno na osam potpoglavlja, od kojih se svako bavi analizom teoretskih osnova, kao i pregledom dosadašnjih istraživanja u okviru zadate teme. U *prvom potpoglavljju* velika pažnja je usmerena na razjašnjenje pojma obradivosti materijala sa akcentom na vrednost izlaznih karakteristika procesa obrade. *Drugo potpoglavljje* obuhvata analizu obrade novih materijala sa posebnim osvrtom na legure aluminijuma. *Treće potpoglavljje* daje pregled istraživanja iz oblasti procesa nastajanja strugotine sa posebnim osvrtom na modele nastajanja strugotine. *Četvrto potpoglavljje* se bavi razjašnjavanjem procesa glodanja sa posebnim osvrtom na eksperimentalne radove koji se bave merenjem otpora rezanja, hrapavosti obrađene površine i temperature u zoni rezanja. *Peto potpoglavljje* prikazuje postupak modeliranja procesa primenom višefaktornog plana eksperimenta. *Šesto potpoglavljje* obuhvata analizu primene veštačke inteligencije u oblasti procesa glodanja. *Sedmo potpoglavljje* obuhvata optimizaciju parametara obrade primenom Tagučić metode. I na kraju *osmo potpoglavljje* analizira problematiku definisanja obradnih modela uz pomoć metoda konačnih elemenata u cilju adaptivnog predviđanja procesa.

U *trećem poglavlju* je dat opis eksperimentalnog istraživanja i ono je podeljeno na tri dela. U *prvom delu* dat je opis eksperimenata pri čeonom glodanju sa posebnim osvrtom na razvoj merno akvizicijskog sistema, kao i na način merenja vrednosti izlaznih karakteristika procesa obrade (sila rezanja, hrapavosti obrađene površine i temperature u zoni rezanja). U *drugom delu* dat je opis eksperimenta pri obimnom glodanju sa posebnim osvrtom na karakterizaciju materijala. I na kraju u *trećem delu* dati su rezultati eksperimentalnih ispitivanja, s tim da je veći deo rezultata prikazan na kraju ove disertacije u prilogu 1 i 2.

U *četvrtom poglavlju* prikazano je modeliranje izlaznih karakteristika stanja procesa obrade glodanjem statističkom metodom i metodama veštačke inteligencije. Prikazani su modeli dobijeni uz pomoć višefaktornog plana eksperimenta, s tim da je jedan deo rezultata ovih trofaktornih modela prikazan u Prilogu 3. Takođe u ovom delu je prikazano formiranje modela uz pomoć neuronskih mreža kao i fazi logike, sa grafičkim odnosno tabelarnim pregledom dobijenih rezultata.

U *petom poglavlju* prikazani su rezultati optimizacije parametara procesa obrade glodanjem uz pomoć Tagučić metode, sa posebnim osvrtom na ANOVA analizu.

Poglavlje šest prikazuje simulaciju procesa obrade čeonog glodanja pomoću metode konačnih elemenata u cilju adaptivnog predviđanja procesa, gde se konkretno prati oblik stugotine i temperatura na reznoj ivici alata.

Poglavlja sedam i osam obuhvataju analizu dobijenih rezultata, kao i zaključna razmatranja i kritički osvrt na razmatranu problematiku.

U *desetom poglavlju* je dat pregled referenci koje su korišćene i najvećim delom citirane u radu.

2.0. TEORIJSKE OSNOVE I PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

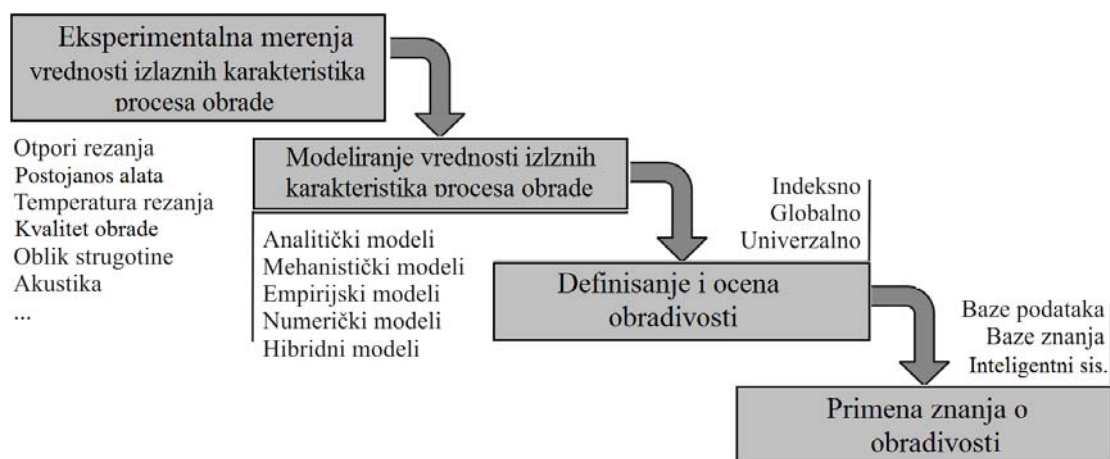
Faze istraživanja, sticanja i korišćenja znanja u oblasti obrade rezanjem su:

- proučavanje obradivosti novih materijala zasnovano na eksperimentalnim istraživanjima,
- proučavanje novih tehnologija i procesa obrade zasnovano na eksperimentalnim istraživanjima,
- modeliranje procesa obrade rezanjem,
- ugradnja znanja u sisteme zasnovane na bazi veštačke inteligencije i
- definisanje modela uz pomoć metoda konačnih elemenata u cilju adaptivnog predviđanja procesa.

2.1. Obradivost materijala pri obradi rezanjem

Obradivost materijala pri obradi rezanjem je bez sumnje ključno pitanje tehnologije obrade rezanjem. Od efikasnosti njegovog rešavanja u velikoj meri zavise tehnološke karakteristike procesa, kao što su: *ekonomičnost, tačnost i kvalitet obrađene površine* [2].

Obradivost materijala je relativna osobina materijala predmeta obrade, koja se definiše kao lakoća kojom se izvodi obrada. Kao tehnološka osobina materijala, predstavlja sklonost materijala da se lakše ili teže obrađuje odgovarajućim procesima obrade rezanjem u uskom spektru i uslova režima obrade. Obradivost materijala se definiše kao sposobnost nekog materijala da se obrađuje ekonomičnim metodama.



Slika. 2.1. Obradivost materijala pri obradi rezanjem [3]

Kao što se vidi, obradivost materijala se ne može iskazati samo jednom, već sa više karakteristika procesa, kao što su: *postojanost reznog alata, kvalitet obrađene površine, sile ili momenti rezanja, temperature rezanja i oblik strugotine*, slika 2.1. To znači da obradivost materijala nije jednoznačno određena veličina, koja se može izraziti, npr. preko mehaničkih svojstava materijala, već je to višeznačno određena karakteristika materijala obratka. Izlazne karakteristike procesa se izražavaju u obliku funkcija najuticajnijih parametara procesa rezanja koje se obično nazivaju **funkcije obradivosti** materijala [2,4].

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Kada je reč o značaju poznavanja obradivosti materijala u cilju razvoja i primene tehnologije obrade rezanjem, on se može specificirati u sledećih nekoliko tačaka [2]:

1. *Poboljšanje kvaliteta postojećih materijala*

Poznavanje obradljivosti, kao osnovne tehnološke karakteristike materijala, isto tako je značajno kao što je poznavanje tvrdoće materijala, jačine na kidanje i dr. Ono ukazuje na puteve kojima se može ostvariti poboljšanje kvaliteta postojećih materijala sa stanovišta njihove lakše, brže i jeftinije obrade primenom postupaka obrade rezanjem.

2. *Projektovanje tehnologije obrade rezanjem*

Primena znanja iz obradivosti materijala omogućuje da se korišćenjem klasičnog ili automatskog postupka (CAPP) projektuje bolja tehnologija obrade rezanjem, odnosno da se optimalno projektuju operacije, zahvati i pokreti, proračunaju režimi rezanja i odrede drugi uslovi obrade na odabranim mašinama.

3. *Tehnoekonomsaka optimizacija obrade rezanjem*

Korišćenje znanja o obradivosti ima poseban značaj u oblasti tehnoekonomske optimizacije tehnoloških procesa, režima i uslova obrade u savremenoj tehnologiji obrade rezanjem. Ovo zbog toga, jer se tehnoekonomija proizvoda javlja odmah posle kvaliteta izrade kao drugi važan zahtev koji se zahteva od primenjene tehnologije obrade.

4. *Razvoj novih materijala i SHP-sredstava*

U ovom slučaju radi se o primeni znanja o obradivosti za razvoj novih vrsta materijala sa boljom obradivošću, novih alatnih materijala sa boljim reznim sposobnostima, kao i novih SHP-sredstava koja efikasnije hlade i bolje podmazuju.

U nauci o obradi rezanjem izdvojeni su i proučeni brojni faktori koji utiču na obradivost materijala, odnosno na osnovne funkcije kojima se ona ocenjuje. Svi oni se mogu svrstati u tri osnovne grupe faktora i to [1,2]:

- Faktori vezani za *materijal obratka*;
- Faktori vezani za *materijal alata* i
- Faktori kojima se definišu *uslovi pri obradi*.

Uticajni faktori koji proističu iz *materijala obratka* su:

- Hemijski sastav (osnovni + legirajući elementi);
- Mehanička svojstva (tvrdoća, čvrstoća, žilavost);
- Metalurško stanje (žareno, otpušteno, kaljeno).

Pod pojmom apsolutne obradivosti materijala se podrazumeva skup analitičkih izraza koji opisuju propratne pojave u zoni rezanja ispitivanog materijala. Pod pojmom relativne obradivosti podrazumeva se poređenje stanja obrade nekog materijala s poznatim /etalonskim/ materijalom.

Obradivost materijala je veoma važna u industriji prerade metala rezanjem. Od nje zavisi brzina rezanja, troškovi potrošnje alata, traženi kvalitet obrađene površine i dr. Uopšteno se obradivost materijala može definisati kao njegova sposobnost da se može obrađivati skidanjem materijala. Bolju obradivost ima materijal:

- koji se određenim alatom obrađuje većim brzinama rezanja,
- koji se obrađuje uz što manje sile rezanja,
- kod kojeg je vek trajanja alata što duži,
- kod kojeg se dobija strugotina što povoljnijeg oblika,
- kod kojeg se postiže što bolji kvalitet obrađene površine,
- koji pri obradi ne uzrokuje visoku radnu temperaturu,
- i drugi manje važni kriterijumi.

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Ovi kriterijumi obradivosti su tesno povezani sa svojstvima materijala, njihovim hemijskim sastavom i strukturom. Tako na primer, isti materijal koji je različito termički obrađen ima različitu strukturu, a time i različitu obradivost. O obradivosti se može govoriti i kao o karakteristici obratka u pogledu mogućnosti pretvaranja tog materijala u strugotinu ili o reznoj sposobnosti kao karakteristici alata u pogledu njegove vremenske izdržljivosti pri obradi rezanjem, ali i mogućnosti izvođenja završne obrade kao posledice zajedničkog delovanja niza uticaja na ostvarenu mikrogeometriju i makrogeometriju površine.

Kriterijumi vrednovanja obradivosti u pojedinim slučajevima su različiti, tako da se za različite materijale mogu dobiti potpuno različite ocene prema pojedinim kriterijima. Često se dešava da su sile rezanja kod jednog materijala manje nego kod drugog, a da je postojanost alata veća i sl. Potpunu sliku o obradivosti nekog materijala dobijamo tek ako su poznati svi elementi obradivosti [3].

Različiti su postupci određivanja obradivosti materijala koji se mogu podeliti:

- prema kriterijumu vremena potrebnog za ispitivanje,
- prema kriterijumu obradivosti.

Najpoznatiji postupci određivanja obradivosti su:

- postupci kojima se određuje postojanost alata "ispitivanje istrošenosti neposredno ili posredno merenjem temperature na oštrici",
- postupci za merenje sila rezanja "posredni i neposredni",
- postupci merenja kvalitete obrađene površine,
- postupci ocenjivanja oblika strugotine,
- kombinovani postupci.

Nekoliko naučnih radova koji su dostupni kroz literaturne izvore opisuju obradivost, u ovom slučaju legura aluminijuma, na osnovu navedenih karakteristika procesa obrade rezanjem. Neki od njih predstavljaju modele i tehnike optimizacije, uključujući značaj poznavanja kvaliteta i hrapavosti obrađene površine [5-9], kao i sila rezanja i temperatura koje se javljaju pri procesu obrade rezanjem [10-13].

U nastavku je dato teorijsko istraživanje i analiza (osvrt na teorijska razmatranja o ovom problemu i mogućim modelima za funkcije ograničenja) sa pregledom dosadašnjih istraživanja i osvrtom na trenutno stanje u ovom području.

Na osnovu analize radova iz oblasti obrade glodanjem koji su objavljeni u dostupnoj literaturi, može se primetiti da je većina ovih radova nastala u periodu poslednjih četrdest godina, što je u svakom slučaju uslovljeno razvojem opreme i instrumentacije, a takođe i razvojem računarske tehnike. Iako postoje radovi koji se bave širom problematikom, većina radova koji su vezani za područje kojim bi se bavila ova doktorska teza mogu da se svrstaju u sedam grupa:

1. Teoretske osnove i radovi iz oblasti obrade novih materijala sa posebnim osvrtom na legure aluminijuma.
2. Teoretska istraživanja procesa nastajanja strugotine.
3. Teoretske osnove i radovi koji se bave razjašnjavanjem procesa glodanja i koji su usko povezani sa eksperimentalnim radovima iz oblasti merenja otpora, hrapavosti i temperature rezanja.
4. Teoretske osnove o modeliranju procesa primenom višefaktornog plana eksperimenta
5. Primene veštačke inteligencije sa radovima u oblasti procesa glodanja.
6. Optimizacija parametara obrade primenom Taguchi metode.
7. Teoretske osnove i radovi koji se bave problematikom definisanja obradnih modela uz pomoć metoda konačnih elemenata u cilju adaptivnog predviđanja procesa.

2.2. Aluminijum i njegove legure

Proizvodnja aluminijuma je krajem XIX veka naglo porasla i prema tome znatno snizila cenu ovog metala, koji se donedavno smatrao dragocenim, gledajući na vreme kad je bio prestiž da se kao "escajg" koriste aluminijumske kašike i viljuške, dok su nasuprot tome srebrne i zlatne bile u drugom planu. Naravno on za juvelire nije predstavljao nikakav interes, ali je zato privukao pažnju industrijskog sveta koji se nalazio u predvorju velikih događaja: mašinogradnja je započela svoj buran razvoj, automobilska industrija staje na noge i naposljetku avijacija se spremala da učini svoje prve korake, pa je aluminijumu predstojalo da odigra najvažniju ulogu.

Godine 1893. u Moskvi je izašla knjiga inženjera N. Žukova "Aluminijum i njegova metalurgija", gde autor piše da je aluminijum pozvan da zauzme istaknuto mesto u tehnici i da zameni ako ne sve, onda mnoge konvencionalne metale. Postojali su dobri razlozi za ovu tvrdnju pošto su već tada bila izvedena svojstva "srebra iz gline". Aluminijum je jedan od najlakših metala. On je preko 3 puta lakši od bakra i železa. Po termičkoj provodljivosti i elektroprovodljivosti on zaostaje samo za srebrom, zlatom i bakrom. U običnim uslovima ovaj metal je hemijski dovoljno stabilan. Visoka plastičnost omogućava da se aluminijum izvuče u najtanju žicu debljine paučine (žica dužine 1000 metara teška je samo 27 grama) i da se smesti u kutiju od cigareta. Samo, njegove karakteristike u pogledu čvrstoće mogle bi biti bolje. Ta činjenica je podstakla naučnike da zamisle kako da ga učine jačim, a da zadrži svoja dobra svojstva.

Odavno je poznato da je čvrstoća mnogih legura često mnogo veća nego čistih metala, koji ulaze u sastav legure. To je takođe razlog što su se metalurzi počeli zanimati traženjem takvih "saradnika", koji bi aluminijumu mogli pomoći da ojača. Jedan od prvih naučnika koji je imao uspeh u dodavanju odgovarajućih hemijskih elemenata u aluminijum je bio nemački hemičar Alfred Vilm. On je pripremio leguru u koju su osim aluminijuma ušli različiti dodaci: bakar, magnezijum i mangan. Čvrstoća ove legure bila je veća nego čistog aluminijuma, ali je Vilm predosećao da legura može biti još čvršća, ako se izloži kaljenju. Naučnik je zagrejao nekoliko uzoraka legure do skoro 600°C, zatim ih ohladio u vodi. Hlađenje je primetno povećalo čvrstoću legure, ali pošto rezultati ispitivanja različitih uzoraka nisu bili indentični, Vilm je posumnjao u ispravnost uređaja i tačnost merenja. Posle nekoliko dana potrošenih na popravku uređaja, uzorci su zaboravljeni ostali na stolu, a zatim kad je uređaj ponovo bio spreman za rad, pokazalo se da su mnogo jači nego ranije. Čvrstoća uzoraka se udvostručila. Naučnik je iznova ponavljao svoje eksperimente i svaki put se uveravao da njegova legura posle hlađenja u toku narednih dana postaje sve čvršća. Tako je otkrivena najinteresantnija pojava - prirodno starenje aluminijumove legure posle kaljenja. Nedugo zatim jedna nemačka fabrika je pustila prvu seriju nove legure, kasnije nazvanu duraluminijum [14].

Godine 1919. pojavili su se prvi avioni, napravljeni od duraluminijuma. Od tog doba je aluminijum zauvek vezao svoju sudbinu za avijaciju. On je s pravom zaslužio reputaciju "krilatog metala", pretvorivši primitivne letelice u gigantske vazdušne mlaznjake.

Potreba za ovim metalom je stalno rasla, glavni naručilac aluminijuma je i dalje ostala avio industrija, ali su se pojavile nove sfere u kojima je on našao primenu. Tako se redom njegova primena našla u konstrukciji raketne tehnike, delova (omotač-folije) veštačkih Zemljinih satelita, konstrukcije okeanskih podmornica, delova u elektrotehničkoj industriji (provodnici, kondenzatori...), konstrukciji transportnih uređaja, industriji za skladištenje konzervirane hrane, izgradnji kuća, mostova, zgrada hidrotehničkih objekata. Takođe metalurzi u velikoj meri koriste

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

aluminijum kao dezoksidaciono sredstvo pri izradi čelika. Aluminijumske legure su osnovni sastojak pri aluminotermičkim procesima za dobijanje mnogih legura.

Aluminijum danas, to su brodovi i jahte, putevi za močvarna zemljišta, kao i letnje trase za treniranje skijaša, violine i gitare koje po zvuku ne zaostaju za drvenim instrumentima, teniski reketi, automobilski motori, pa čak i tenkovski oklop. Takođe je već napravljena aluminijumska tkanina (prekrivena veoma tankim slojem aluminijuma), koja ima izvanredne osobine: može da greje i da hladi u zavisnosti šta je potrebno, tj. da li je zima ili leto.

Dobre mehaničke osobine uz malu specifičnu masu, visoka koroziona postojanost, toplotna i električna provodljivost, omogućavaju upotrebu ovih materijala u različitim atmosferskim uslovima. U poređenju sa čelikom, odnos čvrstoća/težina kod aluminijuma i njegovih legura je mnogo veći, što opredeljuje izbor ovih materijala u slučajevima kada je faktor težine važan, na primer u vazduhoplovstvu. Pored toga aluminijum i njegove legure se koriste za izradu rezervoara, cevi, izmenjivača toplote, cevi koje se koriste za cevovode u morskoj vodi, a veliku primenu nalaze u prehrambenoj industriji [15,16].

Pored legure aluminijuma konvencionalno livene u primeni su i nove legure sa istim hemijskim sastavom, ali sa promenom u pogledu mikrostrukture. Radi se o uzorcima dobijenim novim procesom livenja za koji je usvojen naziv "Semi Solid Metal", odnosno SSM proces i kod kog je izvršeno razbijanje dendrita rastopljenog metala u takozvanom polu tečnom stanju, radi dobijanja sitnije mikrostrukture [17,18]. Karakteristike i potencijalne mogućnosti primene SSM dao je u svom radu Z. Fan [19], tabela 2.1. Postoji više metoda procesiranja za dobijanje SSM. "Thiocasting" i "Rheocasting" su dve najstarije metode. Najnovija metoda je bazirana na uduvavanju mehurića argona u metal, dok se on nalazi u polutečnom stanju. Ovom metodom se postiže umnožavanje zrna fragmentacijom dendrita [20-22].

Legura aluminijuma sa bakrom kao glavnim legirajućim elementom, koja je korišćena u preliminarnim istraživanjima [23], daje uporedan odnos ispitivanih karakteristika kod legura istog hemijskog sastava a različitog načina livenja. Jedan deo legure je liven konvencionalnim putem, a drugi deo legure novim SSM procesom livenja. Ova legura spada u legure iz serije 2000 koje pripadaju grupi takozvanih "tvrdih legura". One se najčešće koriste u avioindustriji i vojnim primenama. Druge primene uključuju: ploče, oklope, žice, šipke, profile, cevi i otkovke. Bakar je glavni legirajući element legura ove grupe, ali mnoge od njih sadrže značajne količine silicijuma, mangana, magnezijuma, nikla ili titanijuma. Bakar u znatnoj meri povećava čvrstoću aluminijuma. Dodatkom 1% Cu zatezna čvrstoća aluminijuma povećava se sa 140 na 210 N/mm². Legure sa višim sadržajem bakra mogu se posle kaljenja na 550°C ojačavati termičkim taloženjem. Nakon termičkog tretmana, mogu po osobinama da se približe valjanom čeliku. Legure aluminijuma sa bakrom sadrže do 5% bakra. Imaju dobra mehanička svojstva i dobro se obrađuju skidanjem strugotine. Primenjuju se za odlivke od kojih se zahteva veća čvrstoća. Dobra obradivost je pozitivna osobina ove serije, ali ne nudi dobru otpornost na koroziju. Legura 2024 je verovatno najšire korištena i najpoznatija legura iz serije 2000, njena primena je velika i naročito se to ogleda za primenu u avioindustriji.

Na osnovu preliminarnih istraživanja izvršenim na leguri aluminijuma sa bakrom livenom na dva načina, dobijeni su rezultati koji potvrđuju da način livenja utiče na mikrostrukturu materijala, odnosno da se dobija povoljniji oblik korena strugotine i manje porozan materijal kod SSM procesa livenja. Razbijanjem dendrita, dobijena je sitnozrna mikrostruktura sa ravnomernijom veličinom zrna, koja povoljno utiče i na kvalitet obrađene površine. Na osnovu ovih istraživanja nameće se pitanje kakva je obradivost legure sa drugačijim hemijskim sastavom a takođe livenom na dva različita načina, konvencionalnim putem i novim SSM procesom.

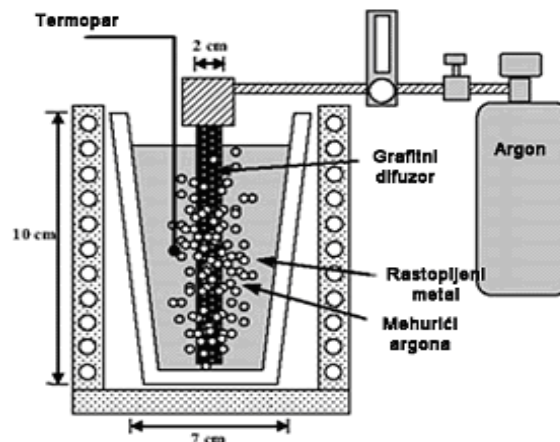
Tabela 2.1. Karakteristike SSM u eksploataciji [19]

| Karakteristike | Potencijalna dobit ovog procesa |
|---|---|
| Niži nivo toplote nego kod konvencionalno livene legure | Veća brzina formiranja dela. Veća brzina kontinualnog livenja. Niži koeficijent erozije. Formiranje feritnog dela. Formiranje drugih materijala sa visokom tačkom topljenja. Formiranje reaktivnih metala. |
| Čvrstina za vreme punjenja kalupa | Mogućnost popunjavanja manjih otvora u kalupu. Potreba za manjim "hraniteljem" pri konstrukciji kalupa. Manja makro segregacija. Sitnozrna mikrostruktura. |
| Viskozitet veći nego kod tečnih metala i može se kontrolisati | Manja količina zarobljenih gasova u kalupu. Smanjena količina zarobljenog oksida. Poboljšana obradivost. Manja veličina ulivnog dela kalupa. Poboljšan površinski sloj. Automatizacija. Novi proces. |
| Napon tečenja niži nego za čvrste metale | Formiranje komplikovanih delova Brzo formiranje dela Niži troškovi formiranja dela Velika brzina formiranja kontinuiranog oblika Novi proces |
| Sposobnost da se uključe i drugi materijali | Kompoziti. |
| Sposobnost da se odvoji tečno i čvrsto stanje | Prečišćavanje. |

Legura aluminijuma sa cinkom kao glavnim legirajućim elementom je predložena za istraživanje u ovoj doktorskoj disertaciji. To je legure iz serije 7000 koja sadrži najveći procenat cinka (Zn), kao njenog glavnog legirajućeg elementa, a kao drugi po redu legirajući element je magnezijum (Mg). Pored Zn i Mg, legura oznake 7075 (koja je izabrana iz serije 7000 za ispitivanje obradivosti) sadrži i bakar (Cu) kao četvrti legirajući element, tj. to je višekomponentna legura Al-Zn-Mg-Cu. Legure 7075 imaju visoke mehaničke osobine, dobru obradivost i primenljivost termičkih postupaka, ali poseduju lošu otpornost prema koroziji. Spadaju u grupu "tvrdih legura". Takođe se često koriste u avioindustriji i vojnim primenama. Primenuju se u obliku limova, ploča, žice, šipki, ekstrudiranih proizvoda, konstrukcionih oblika, cevi, otkovaka itd.

2.2.1. Postupak dobijanja SSM mikrostrukture

U ovom postupku mehurići gasa uzburkavaju rastopljeni metal tokom inicijalne faze očvršćavanja.

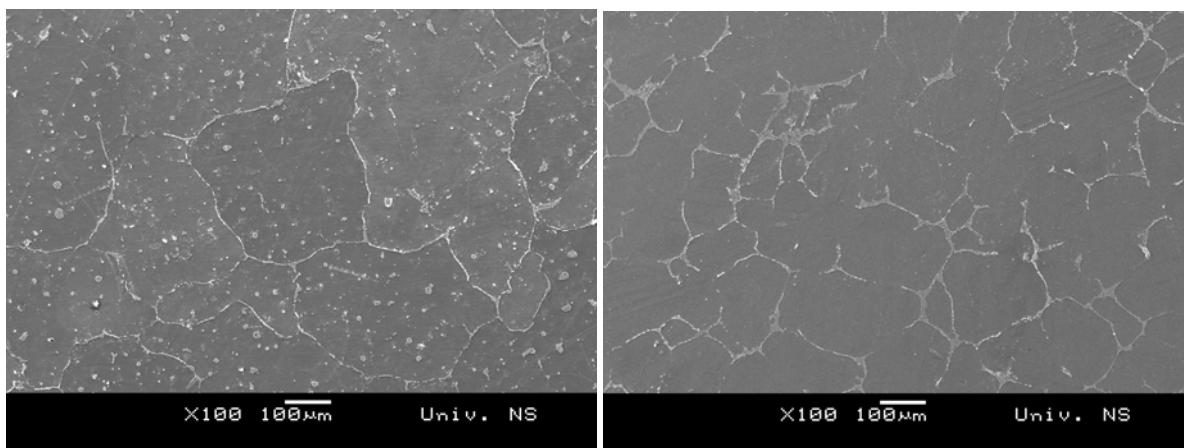


Slika 2.2. Šema aparature za uvođenje gasnih mehurića [16]

Kod ove konfiguracije se koristi porozna grafitna šipka kao difuzor gasa da bi se dobili fini mehurići argona. Difuzor je povezan na rezervoar argona opremljen meračem protoka, dok se termoparom kontrolišu temperature legure tokom procesa.

Ustanovljeno je da postoji optimalni opseg veličina protoka gasa. Iz praktičnih razloga, protok gasa ne bi trebao biti prevelik, da bi se izbeglo rasprskavanje rastopa. Međutim, protok mora biti dovoljno veliki, da bi se obezbedilo dovoljno strujanje u rastopu. Takođe je utvrđeno da rastopi veće zapremine zahtevaju spoljno hlađenje tokom procesa da bi brzina hlađenja bila dovoljno velika.

Na slici 2.3. a) i b) data je tipična mikrostruktura ispitivanih uzoraka legure Al 4,4%Cu dobijenih konvencionalnim livenjem (KL) kao i SSM metodom livenja.



Slika 2.3.a. Mikrostruktura konvencionalno livene legure 2.3.b. SSM mikrostruktura [23]

Mikrostruktura kod legura KL se sastoji iz α čvrstog rastvora i faze Al_2Cu smeštene po granicama zrna i unutar zrna, dok se kod legure SSM mikrostruktura sastoji iz α čvrstog rastvora i faze Al_2Cu smeštene samo po granicama zrna. Na prikazanim slikama α čvrsti rastvor se vidi kao najkrupnije zrno u strukturi, dok se Al_2Cu vidi kao siva faza. Legura aluminijuma livena konvencionalnim putem ima krupniju stukturu (α čvrsti rastvor) nego legura livena SSM procesom. Količina eutektikuma je različita i veća je kod SSM, što je povezano sa zrnastom mikrostrukturom i razbijanjem dendrita gasom argona. Temperatura topljenja (pregrevanja) je iznosila $638^{\circ}C$, dok je temperatura očvršćavanja bila $502^{\circ}C$.

2.3. Proces nastajanja strugotine

Generalno, mašinska obrada procesom skidanja materijala je najčešći proces u proizvodnji mašinskih delova, odnosno, rezanje je proces pogodan za obradu skoro svih materijala (crnih i obojenih metala, mekih i tvrdih, duktilnih i krutih, itd). Razlike koje se javljaju pri procesu praćenja obradivost izabranih materijala su veoma značajne za stvaranje nove baze znanja. Takve baze, koje u svojim obeležjima imaju karakteristike materijala i izražavaju sposobnost obrade, najčešće uz pomoć nekih metoda zanovanih na ekonomskom principu, su veoma značajne [24, 25].

Takođe, može se reći da karakteristike mašinskih delova (kao trajanje, zamor, habanje, itd) ne zavise samo od izbora materijala, nego i od stanja površinskog sloja nakon obrade rezanjem metala. Parametri i pojave, kao što su stanje i kvalitet površinskog sloja, temperature pri rezanju, sile rezanja, itd, su strogo povezani sa geometrijom i oblikom korena strugotine [25].

Izrazita složenost pojava u zoni rezanja onemogućava postavljanje pouzdanog, jednostavnog i sveobuhvatnog matematičkog modela naponskog i deformacionog stanja na osnovu kojeg bi se spoznala i objasnila suština i mehanizam nastajanja strugotine pri rezanju. Među razvijenim teorijskim šemama može se uočiti šest karakterističnih modela nastajanja strugotine [26]. Ove modele je razvijalo više autora: *Time* i *Marchant* su razvili prvi model. *Sam Merchant* je postavio drugi model. Za treći model najveći doprinos je dao *Brix*. Četvrti model su razvili *Glebov*, *Rosember*, *Jeremin*, *Usačev*, peti *Brix*, *Zorev*, *Okušima*, *Hitomi* i šesti *Zorev* [27-29]. Kao što je već napomenuto nastanak korena strugotine i njegovo formiranja teoretski se može objasniti različitim modelima. Jedan od najpoznatijih je Briksov model [30], koji opisuje proces formiranja korena strugotine kao niz elementarnih lamela koje prate proces plastične deformacije klizanja i sabijanja sve dok se nalaze u kontaktu sa grudnom površinom alata. To je veoma sofisticiran model, gde je potrebno dobro upoznati mikrostrukturu materijala, a naposljetku uzeti u obzir i druge uticaje na proces nastajanja strugotine kao što su brzina, sila rezanja, geometrija alata itd. Takođe, autori kao na primer u radu [31], uzimaju materijal obrade kao uicajni faktor pri procesu analize sile rezanja, a ne razmatraju mikrostrukturu promenu veličine zrna pri procesu nastajanja strugotine, tj. ne prate proces deformacije zrna.

U ovom istraživanju korišćen je četvrti model nastajanja strugotine koji je nastao na osnovu proučavanja mikrosnimaka zone rezanja i korena strugotine, iz kojih se vidi da je pravac izduženja zrna strukture određen uglom ψ u odnosu na ravan smicanja, slika 2.4. Ovaj ugao ψ se zove **ugao teksture zrna**. Ravan smicanja deli nedeformisani deo rezanog sloja od korena strugotine gde je deformacija završena. Na osnovu toga proizilazi da se smicanje javlja jednovremeno po celoj debljini strugotine uz pretpostavku da nema smicanja u pravcu ravni *OA*.

Linije teksture su među sobom paralelne na najvećem delu strugotine, osim na delu manje debljine uz grudnu površinu, u takozvanom kočionom sloju. U ovom delu strugotine dolazi do savijanja linija teksture jer se kretanju čestica suprotstavljaju dve vrste sila:

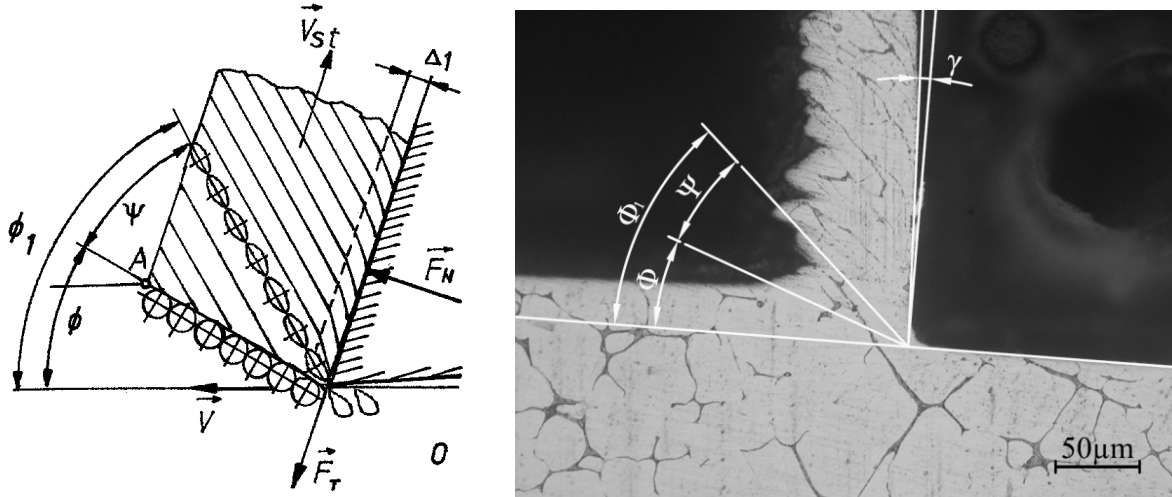
- Normalne sile (pritisci), koje potiču od reznog klina, i
- Sile trenja na grudnoj površini (kočione sile).

Stepen povijanja linija teksture odnosno debljina kočionog sloja, a time i vrednost zone deformacije *H* raste sa porastom otpora trenja.

Istraživanje deformacija pri nastajanju strugotine i nalaženje ugla teksture zrna ψ , se vrši nanošenjem, na bočnu stranu rezanog sloja, koordinatne mreže sa kvadratnim ili kružnim ćelijama (dimenzija 0,05 ÷ 0,15 mm).

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

U određenom trenutku proces rezanja se prekida pomoću uređaja za trenutno prekidanje procesa, a zatim se na mikroskopu posmatraju i mere dimenzije deformisanih ćelija. Izduženje krugova u elipse se vrši tako da je glavna osa elipse u pravcu ugla tekture zrna ψ , slika 2.4.



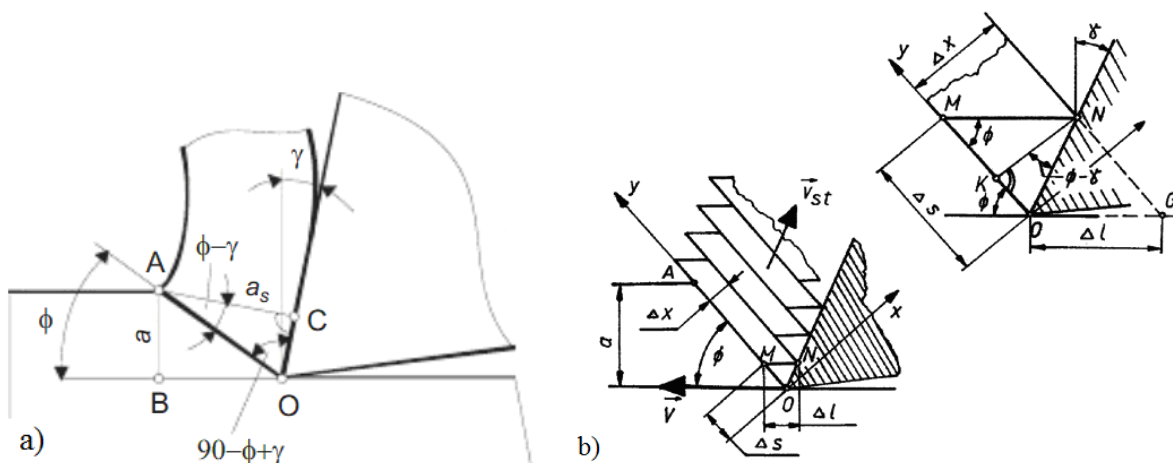
Slika 2.4. Četvrti model nastajanja strugotine [26]

Vrednosti ugla tekture se kreću u granicama $\psi = 0 \div 30^\circ$ i na njegovu vrednost utiče vrsta materijala obratka.

Sledeća mera koja definiše obradivost materijala je faktor sabijanja strugotine λ . Faktor sabijanja strugotine predstavlja merilo deformacije strugotine pri rezanju, slika 2.5., a predstavlja odnos između debljine strugotine a_s i debljine sloja materijala koji se skida (odnosno dubine rezanja a). Faktor sabijanja strugotine se može odrediti na osnovu snimka korena strugotine i određivanja ugla ravni smicanja. Jednačina za određivanje faktora sabijanja strugotine glasi:

$$\lambda = \frac{a_s}{a} = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi} \quad (2.1.)$$

gde je: ϕ -ugao ravni smicanja, γ -grudni ugao



Slika 2.5. a) Geometrijske veličine faktora sabijanja strugotine i b) šema modela za identifikaciju relativnog klizanja [26, 32]

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Na osnovu izmerenih vrednosti uglova sa morfološkog snimka korena strugotine, pored faktora sabijanja strugotine mogu se odrediti i sledeći parametri:

- relativno klizanje:

$$g_k = \frac{\Delta s}{\Delta x} = \frac{\cos \gamma}{\sin \phi \cos(\phi - \gamma)}$$

- kvadratno izduženje:

$$e_1 = 1 + \frac{g_k}{2} \left(g_k + \sqrt{4 + g_k^2} \right) - \text{maksimalno izduženje,}$$

$$e_2 = 1 + \frac{g_k}{2} \left(g_k - \sqrt{4 + g_k^2} \right) - \text{maksimalno sabijanje,}$$

- relativna deformacija:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{e_1} - 1 ; \varepsilon_2 = \sqrt{e_2} - 1$$

- stvarna ili logaritamska deformacija:

$$\delta_1 = \frac{1}{2} \ln|e_1| ; \delta_2 = \frac{1}{2} \ln|e_2|$$

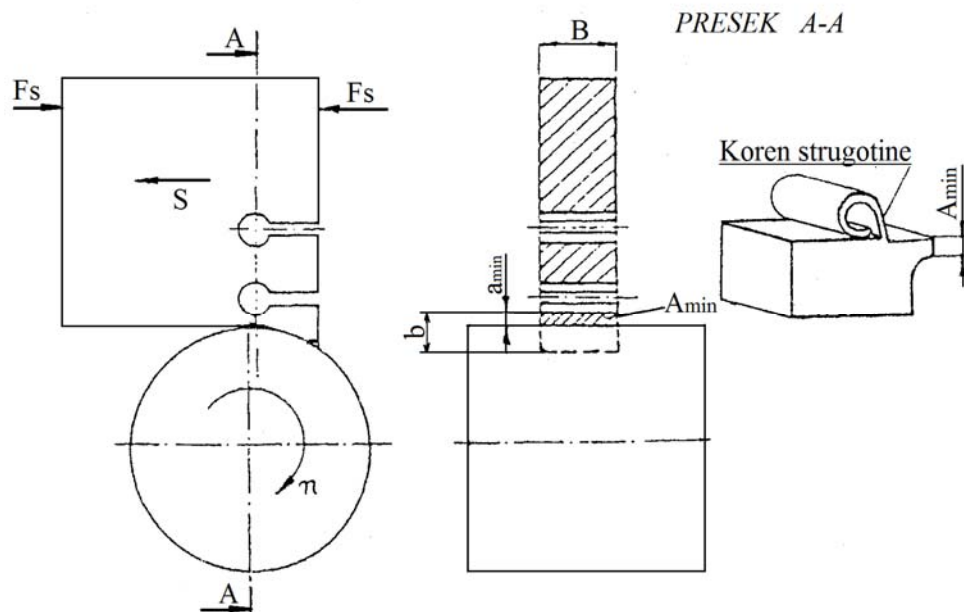
Ovi parametri predstavljaju karakteristike deformacionog stanja u zoni rezanja (korenu strugotine) prema četvrtom modelu formiranja strugotine [26].

Poznato je, da na primer obradivost kod konvencionalno livene Al-Cu legure zavisi prvenstveno od oblika, veličine i količine eutektikuma, odnosno količine Al₂Cu prisutne u ovoj mikrostrukturi [33-35]. "Metal" proizveden u polutečnom stanju menja morfologiju mikrostrukture. Ova promena može uticati na obradivost, čime je proučavanje obradivosti SSM livenih legura od velikog značaja.

Mikrostrukturni prilaz proučavanja plastične deformacije u zoni rezanja omogućuje određivanje parametara deformacije strukture. Uticaj mikrostrukture na proces nastajanja strugotine veoma je veliki. Pored mikrostrukture metalne osnove, veliku ulogu u procesu plastične deformacije imaju oblik, veličina i procenat zarobljenog, tj. ne izbačenog argona u metalu. Ovi mehurići stvaraju uslove za koncentraciju napona, stvaranje mikroprslina i mikrošupljina, koje olakšavaju proces nastajanja strugotine i njeno lomljenje.

Kao što je rečeno proces rezanja metala je praćen velikom plastičnom deformacijom i pukotinama. Veliki broj autora se bavio izučavanjem uzoraka korena strugotine. Metoda koja se koristi pri dobijanju korena strugotine je zasnovana na brzom zaustavljanju procesa rezanja, slika 2.6. Kao takva je primenjena za materijale različite mikrostrukture i hemijskog sastava, što se vidi kroz pregled sledećih radova koji se bave ovom problematikom [23, 37-45].

Cilj ovih radova bio je izučavanje uticaja različite mikrostrukture materijala, dobijene različitim metodama livenja, na proces nastajanja strugotine. Autori pored toga se bave proučavanjem vrste strugotine i klasifikuju ih na osnovu mehanizma nastajanja i širenje prslina. Tokom obrade ovih materijala, akcenat treba staviti na oblik strugotine, da li su prisutne naslage ili ne. Stvaranje naslage je nepoželjan proces, jer je to telo sastavljeno od visokodeformisanih slojeva materijala sa nestabilnim oblikom, koji povremeno raste i odvaja se, što dovodi do lošeg kvaliteta obrađene površine.



Slika 2.6. Način dobijanja uzorka korena strugotine pri obimnom glodanju [36]

U radu [46] autori daju novi analitički izraz za debljinu korena strugotine kod glodanja definisan u pogledu različitosti broja obrtaja, brzine kretanja radnog stola i poluprečnika glodala.

Rad [47] govori o geometriji formiranja strugotine pri glodanju. Korišćena su dva različita tipa obrade pri glodanju, jedan zasnovan na linearnoj putanji alata, a drugi na kružnoj. Glavni fokus u radu bio je na definisanju različitog pomaka po zubu i dubine rezanja u posmatranju geometrijskih promena pri dobijanju korena strugotine. Izvršena su analitička izvođenja koja opisuju oblik promene strugotine, a pored toga je prikazana i neumerička procedura pri definisanju zavisnosti promene debljine korena strugotine.

G. S. Zheleznov [48] se bavi utvrđivanjem geometrijskih parametara korena strugotine formiranog u obradnim procesima. Glavni faktori koji utiču na formiranje određenog tipa korena strugotine sadrže plastičnost kao karakteristiku materijala koji se obrađuje, geometrijske parametre reznog alata i parametare režima rezanja. Uticaj jednog faktora na formiranje korena strugotine je izražen kroz određivanje parametara plastične-deformacije, uslova kao što su vrednost i pravac sila rezanja, fizičko-mehaničkih karakteristika i temperature obrađenog materijala u zoni plastične deformacije i same deformacije. Ustanovljeno je da se, promenom ovih faktora mogu dobiti različiti tipovi korena strugotine. U principu, vrsta korena strugotine je određena karakteristikama procesa rezanja. Obično, kontinualna strugotina preovlađuje u rezanju plastičnih materijala, dok je kratkog oblika kod rezanja krutih materijala. Tu se ogleda kako teorijski tako i praktični značaj u određivanju tipa strugotine, a koji je usko povezan s parametrima koji definišu korena strugotine. Poznavanje vrste korena strugotine omogućava dobijanje posebnih modela za sile i temperature rezanja, odnosno optimizaciju parametara rezanja. Za dobijanje saznanja o tome da li je nazubljen ili ne od suštinskog značaja su parametri koji predstavljaju karakteristike deformacionog stanja u zoni rezanja. Matematičke formule dobijene za dimenzije korena strugotine odražavaju uticaj svih relevantnih faktora, slažu se sa eksperimentalnim podacima i mogu da se preporučuje za praktičnu upotrebu.

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Bradley i dr. [49] u svom istraživanju daju efekte brzine rezanja, dubine rezanja, geometrije alata, habanja alata, predmeta obrade i svojstva materijala obratka na kretanje i geometriju korena strugotine kod struganja. Upravljanje geometrijom korena strugotine pri obradi sa pločicama koje imaju oštricu od polikristalnog dijamanta je često kritičano, jer kontakt između korena strugotine i predmeta obrade može dovesti do površinskog oštećenja alata.

K. Liu i dr. [50] daju teorijsku analizu za mehanizam nastajanja korena strugotine kod rezanja krtih materijala. Kod ovih materijala dobija se kidana strugotina već pri malom prelasku alata preko obrađene površine. Razlog tome je smanjena duktilnost korena strugotine kod krtih materijala. Ovo stanje je povezano sa debljinom rezanja, radijusom vrha alata kao i silom prodiranja pri obradi rezanjem.

U radu [51] autori istražuju efekat uticaja radijusa vrha alata na formiranje korena strugotine i ponašanje alata pri obradi u mikromašinstvu. Prikazane su karakteristične promene korena strugotine gledano kroz plastičnu deformaciju za različite kombinacije radijusa vrha alata (r) i nedeformisanog dela korena strugotine tj. dubine rezanja (a). Dati su deformacijski izgledi korena strugotine za različite odnose (a/r).

Autori u radu [52] definišu pouzdan metod za predviđanje nazubljenja korena strugotine formiranog pri velikim brzinama rezanja. Takođe je izvršena analiza i eksperimentalna verifikacija nazubljenja korena strugotine. Na formiranje nazubljenja kod korena strugotine utiče skoro svaki aspekt velike brzine procesa rezanja (HSC). Ovaj rad imao je za cilj da razvije pouzdan metod za precizno predviđanje takvog procesa formiranja korena strugotine. U tom cilju, izvršena je sistematska analiza uz pomoć metode konačnih elemenata i niz eksperimenata sa HSC su sprovedeni na toplotno tretiranom čeliku AISI 1045. Istraživanje je takođe pokazalo i da grudni ugao alata ima značajan efekat na formiranje nazubljenog oblika korena strugotine.

Trenutni pregled literaturnih izvora u ovoj oblasti dali su delimično i autori u radu [53]. U radu autori govore o mikroglođanju i dubini rezanja gde su pomaci veoma mali, istog reda vrednosti kao i radijus vrha alata, tako da ispod određene vrednosti ne formiraju koren strugotine. Ovaj rad govori o dobijanju korena strugotine sa minimalnom debljinom pri mikroglođanju sa eksperimentalne i numeričke tačke gledišta. Autori predstavljaju svoja saznanja o razlikama i teškoćama pri mikroglođanju u odnosu na makroglođanje u pogledu formiranja korena strugotine. Konačno, rezultati simulacija uz pomoć konačnih elemenata daju modele koji omogućavaju da se utvrdi minimalna debljina korena strugotine.

Problematiku eksperimentalnog dobijanja modela korena strugotine najbolje su objasnili autori u radu [54], gde govore o eksperimentalnoj analizi procesa formiranja korena strugotine pri glođanju mesinga. U radu su varirane brzine rezanja i pomaci po zubu, a prikazan je i značaj radijusa vrha alata. Dobijeni rezultati pokazuju da se za male pomake po zubu, koren strugotine ne formira sa svakim prolazom reznog zuba, što znači da su koreni strugotine pri ovakvim režimima proizvedeni na mahove, tj. nestabilno je njihovo dobijanje pri svakom narednom ponavljanju.

Problematika razvoja statičkog modela data je u literaturi [55]. Autori su razmatrali razvoj poboljšanog, statičkog modela formiranja korena strugotine kod procesa obrade mikroglođanjem. Ovaj model je u stanju da opiše formiranje korena strugotine za posmatrani eksperiment gde su uzeti nizovi vrednosti pomaka po zubu zbog dominacije efekta minimalne debljine korena strugotine. Eksperimentalne analize pokazuju valjanost predloženog modela proverom nivoa periodičnosti za sile rezanja prisutne na različitim pomacima po zubu.

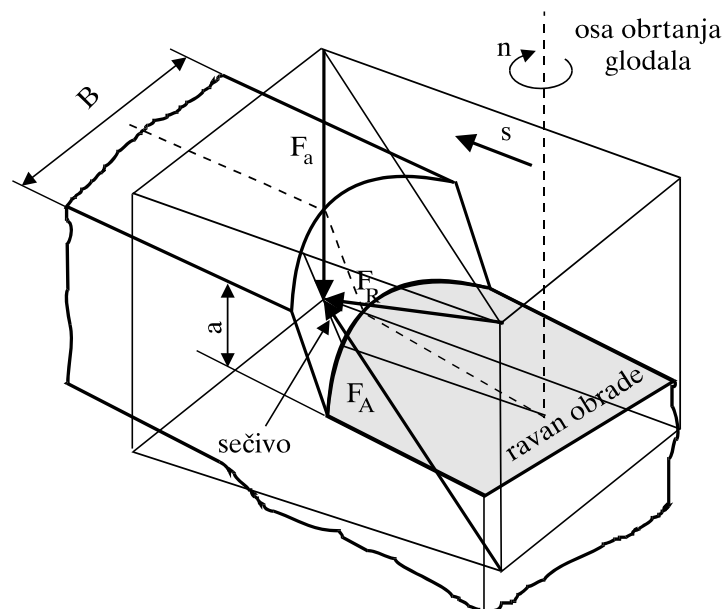
Zavisnost odnosno korelaciju emisije zvučnih signala na formiranje korena strugotine za različite materijala obratka daju autori u radu [56]. Rezultati su pokazali da energija rasutih frekvencija može biti u pozitivnoj korelaciji sa morfologijom korena strugotine. Rad pruža

2.4.1. Sile rezanja

Značaj poznavanja sila rezanja, kao jedne od najvažnijih funkcija obradivosti, je veliki. Poznavanje vrednosti sila rezanja omogućava, pored ostalog, da se: odredi energetski bilans mašine alatke, izvrši proračun i dimenzionisanje elemenata kinematskog sistema mašine alatke, izvrši proračun i dimenzionisanje reznog alata i pomoćnog pribora, izvrši optimizacija procesa obrade, adaptivno upravlja obradnim sistemima i dr [58].

Pošto je obrada čeonim glodanjem jedna od najviše upotrebljivanih i najefikasnijih, u domenu obrada sa relativno visokom proizvodnošću, logično je da je najveći broj radova i istraživanja vezan baš za ovu obradu. Sile rezanja pri čeonom glodanju intenzivno su proučavane kako analitički tako i eksperimentalno.

Kod čeonog glodanja su sile rezanja, kojima zub glodala deluje na obradak, promenljive po vremenu i prostoru kao i po vrednosti i pravcu. Rezultujuća sila F_R može se razložiti na silu F_A paralelnu obrađenoj površini i na silu F_a normalnu na tu površinu, slika 2.8.



Slika. 2.8. Sile rezanja pri čeonom glodanju [58]

Sila F_A se naziva aktivna sila jer u toku obrade opterećuje vreteno glodala na savijanje, dok se sila F_a naziva aksijalna sila i u njenom pravcu nema pomeranja alata u toku obrade.

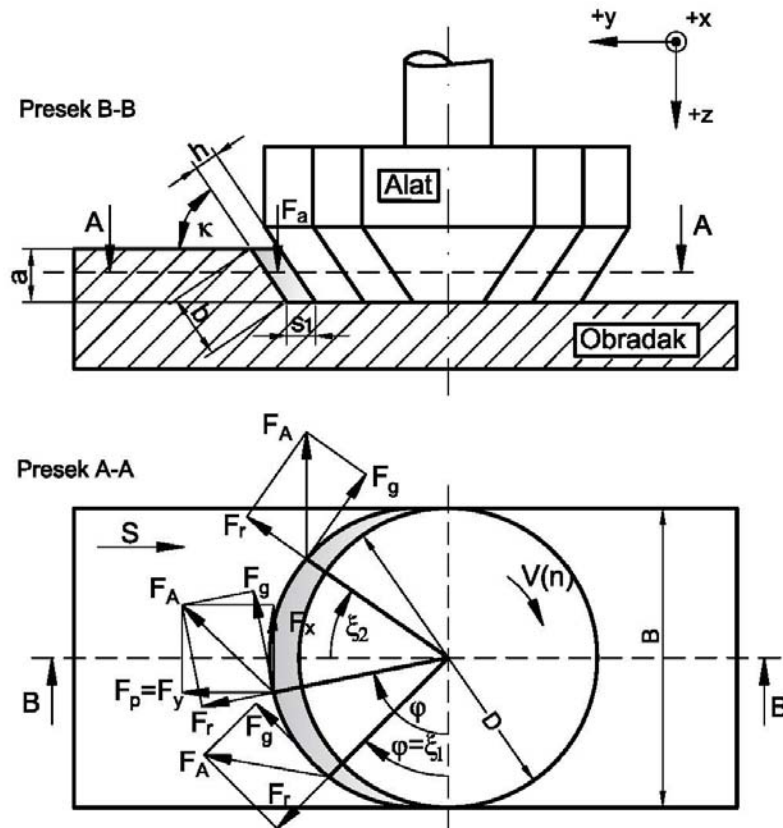
U cilju lakšeg objašnjenja modela sila posmatra se slučaj rezanja jednozubim glodalom, s tim da je širina glodanja jednaka prečniku glodala D . Tada alat u toku jednog obrtaja uklanja strugotinu osenčenu na slici 2.9.

Sila F_A se menja po pravcu i intezitetu u toku rezanja jednog zuba, pa su i njene komponente F_x i F_y različite po intezitetu za ugao od $0^\circ \div 180^\circ$. Promena komponenti F_x i F_y u zavisnosti od vremena rezanja, odnosno ugla φ prikazana je na slici 2.10 [58, 59]. Veza između vremena rezanja i ugla φ data je sledećom jednačinom:

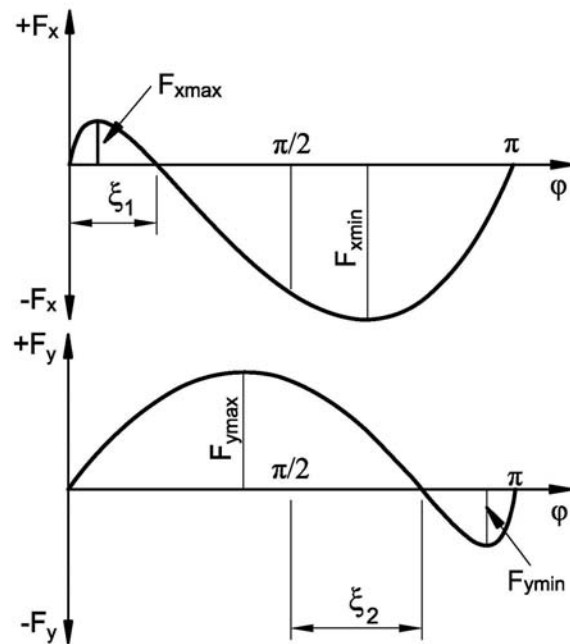
$$\varphi = \omega \cdot t \quad (2.2)$$

gde je: ω - ugaona brzina rezanja.

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja



Slika 2.9. Šema sila rezanja



Slika 2.10. Šematski prikaz promene sila F_x i F_y u zavisnosti od vremena rezanja

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Kod eksperimentalnih ispitivanja pri glodanju se sa dinamometrom mogu meriti samo sile u tri ortogonalna pravca x, y i z (slika 2.9.). Da bi odredili zavisnost $F_i=f(F_x, F_y, F_z)$, $i=(g, r, p, a)$, odnosno F_g -glavne sile rezanja, F_r -radijalne sile rezanja, F_p -sile prodiranja i F_a -aksijalne sile, moraju se razložiti izmerene sile rezanja na te pravce. Posmatraju se dva položaja zuba glodala u zahvatu, tako da je prvom položaju $\varphi < \pi/2$, a u drugom $\varphi > \pi/2$.

Položaj I:

$$F_x = -F_g \cdot \sin \varphi + F_r \cdot \cos \varphi \quad (2.3)$$

$$F_y = F_g \cdot \cos \varphi + F_r \cdot \sin \varphi \quad (2.4)$$

$$F_z = F_a \quad (2.5)$$

ili u matičnom obliku:

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_g \\ F_r \\ F_a \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Rešavajući sistem jednačina (2.3), (2.4) i (2.5) dobijamo:

$$F_g = -F_x \cdot \sin \varphi + F_y \cdot \cos \varphi \quad (2.7)$$

$$F_r = F_x \cdot \cos \varphi + F_y \cdot \sin \varphi \quad (2.8)$$

$$F_a = F_z \quad (2.9)$$

ili u matičnom obliku:

$$\begin{bmatrix} F_g \\ F_r \\ F_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi & +\cos \varphi & 0 \\ \cos \varphi & +\sin \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Sila u pravcu pomoćnog kretanja F_p u svakom trenutku jednaka je sili F_y , odnosno:

$$F_p = F_g \cdot \cos \varphi + F_r \cdot \sin \varphi = F_y \quad (2.11)$$

ili u matičnom obliku:

$$F_p = [\cos \varphi \quad +\sin \varphi] \cdot \begin{bmatrix} F_g \\ F_r \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Položaj II: $\varphi = \frac{\pi}{2} + \xi_2$, iz čega sledi $\xi_2 = \varphi - \frac{\pi}{2}$

$$F_x = -F_g \cdot \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) - F_r \cdot \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.13)$$

$$F_y = -F_g \cdot \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) + F_r \cdot \cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.14)$$

$$F_z = F_a \quad (2.15)$$

Uzimajući u obzir adicione formule :

$$\sin\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) = \sin \varphi \cdot \cos \frac{\pi}{2} - \cos \varphi \cdot \sin \frac{\pi}{2} = -\cos \varphi \quad (2.16)$$

$$\cos\left(\varphi - \frac{\pi}{2}\right) = \cos \varphi \cdot \cos \frac{\pi}{2} + \sin \varphi \cdot \sin \frac{\pi}{2} = \sin \varphi \quad (2.17)$$

jednačine (2.13), (2.14) i (2.15) se svode na jednačine (2.7), (2.8) i (2.9) čije je rešavanje već pokazano. Može se primetiti da iako zavise od ugla položaja φ , aksijalna sila F_a i sila pomoćnog kretanja F_p se mogu direktno odrediti.

2.4.2. Temperatura u zoni rezanja

Pojava toplote u zoni rezanja posledica je pretvaranja mehaničke energije u toplotnu. Toplota utiče na: proces obrazovanja strugotine, plastično deformisanje strugotine i faktor sabijanja strugotine, otpore rezanja, pojavu naslage, intenzitet razvoja procesa habanja reznih elemenata alata i strukturu i debljinu defektnog sloja.

Mehanička energija dovedena u proces rezanja se gotovo u potpunosti transformiše u toplotnu pri nastajanju strugotine u sledećim zonama:

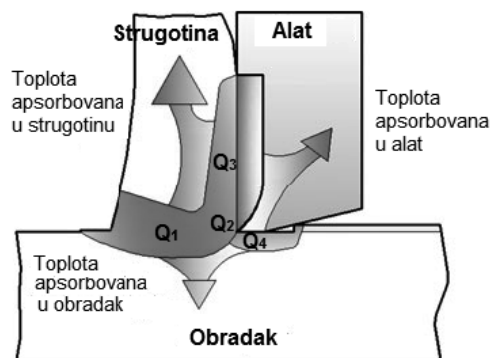
1. U zoni smicanja gde se vrši plastična deformacija Q_1 .
2. U zoni sekundarne deformacije strugotine (kočionom sloju) gde dolazi do unutrašnjeg trenja slojeva materijala Q_2 .
3. Na mestu kontakata grudne površine i strugotine usled trenja Q_3 .
4. Na mestu kontakta leđne površine i obradka usled trenja i deformacije površinskog sloja obradka Q_4 [26].

Ove zone predstavljaju **toplotne izvore** pri rezanju. Iz toplotnih izvora toplota se širi u alat, obradak i strugotinu, slika 2.11 [26].

Raspodela generisane toplote (Q) u četiri toplotna izvora je:

- $Q_1 = (75 - 80) \% Q$
- $Q_2 = (19 - 22,5) \% Q$
- $Q_3 = (2 - 3,5) \% Q$
- $Q_4 = \text{oko } 0,5 \% Q$

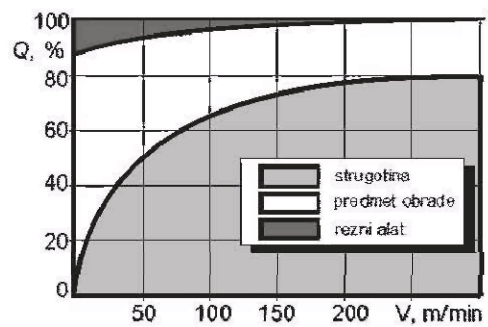
Kratka analiza toplotnih izvora pokazuje da se najveća količina toplote generiše u zoni deformisanja i na kontaktu grudne površine reznog klina alata i strugotine. Upravo su to i oblasti kojima se, u analizi problematike procesa rezanja i posvećuje najveća pažnja.



Slika 2.11. Toplotni izvori [60]

Shodno toplotnim izvorima, postavlja se pitanje ko najviše odvodi toplotu iz zone rezanja. Slika 2.12. daje odgovor na to u pogledu porasta brzine rezanja.

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja



Slika 2.12. Procentualni udeo odvođenja toplote

U doktorskoj tezi D. Milikić govori o metodama za merenje temperatura pri obradi rezanjem i mogućnosti njene tehnološke i senzorske primene pri definisanju mehaničkih i toplotnih karakteristika materijala alata i obratka [61]. Svoj doprinos u merenju temperatura pri obradi glodanjem je svakako dao P. Kovač u svojoj doktorskoj disertaciji. Autor u svom radu daje rešenje za postupak merenja temperature zasnovan na principu termopara. Takođe izvršena je analiza temperatura u različitim tačkama, tj mestima merenja [62].

Činjenicu da je temperatura koja se javlja pri procesu obrade čeonim glodanjem interesantno polje i za današnja istraživanja vidimo iz rada [63], gde autori prate temperaturu u zoni čisto čeonu obrade i zoni kojom se definiše obimno glodanje. Alat u navedenom radu ima takvu konstrukciju da se čeonu obrada vrši istovremeno sa šest reznih ivica, dok je u delu alata koji striktno vrši proces obimne obrade konstrukcija izvedena sa tri rezne ivice. Shodno tome autori prate promenu temperature rezanja u odnosu na različite preseke korena strugotine, koji se svakako dobijaju ovom konstrukcijskom izvedbom alata. I sledeća dva rada prikazuju potrebu za saznanjem o temperaturi koja se javlja prilikom procesa rezanja materijala.

Arsecularante [64] u svom radu daje ocenu nedavno razvijene polu-empirijske metode za predviđanje postojanosti, kontaktne dužine strugotine i temperature. Ovi parametri i empirijske relacije se koriste da bi se izračunala temperatura rezanja i postojanost alata. Autor kroz eksperimentalne rezultate verifikuje ove metode i koristi rezultate za predviđanje deformacije alata. Na kraju se porede eksperimentalni rezultati sa rezultatima dobijenim analitičkim putem.

Uočeno je da se pri obradi rezanjem, kada se na alatu javljaju temperature preko 800°C , javlja difuzija kao osnovni mehanizam habanja alata, koja zavisi od temperature rezanja. Stoga se odgovarajuća temperatura određuje na osnovu karakteristika materijala obratka i uslova obrade. Ukoliko je iz teorije rezanja poznata zavisnost postojanosti alata od temperature obrade, uz poznatu temperaturu, moguće je predvideti postojanost alata uz mnogo manje napora od čisto empirijskog zaključivanja.

Rech, J. i dr. [65] razmatraju analitičko rešenje toplotne difuzije kroz alat kao i kvantitativni toplotni uticaj prevlake bez razmatranja triboloških pojava. Autori razmatraju samo prenos toplote i toplotni fluks s obzirom na termofizičke osobine depozita i njegove debljine.

2.4.3. Hrapavost obrađene površine

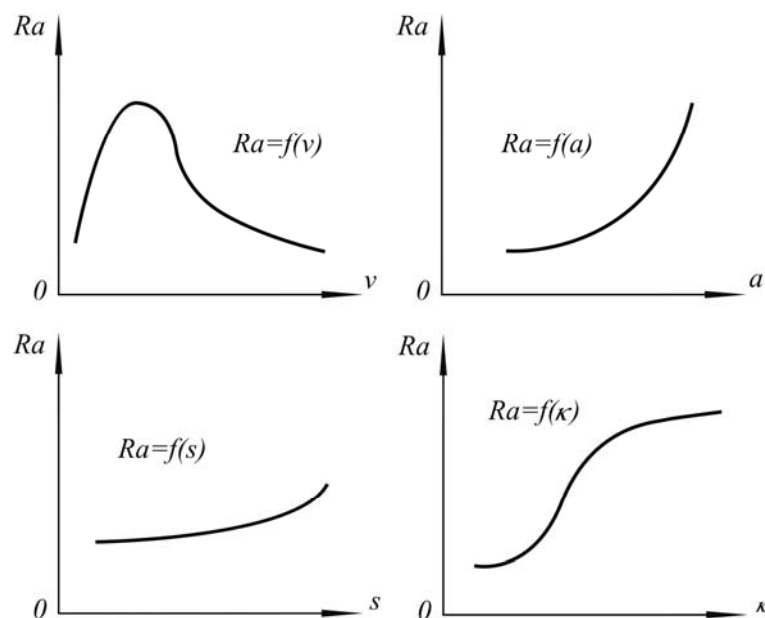
Savremena mašinska industrija uglavnom ima visoke zahteve u pogledu kvaliteta obrađene površine. Samim tim i hrapavost obrađene površine ima veliki značaj. Teži se ekonomičnijoj proizvodnji, ali ujedno sa povećanjem performansi proizvoda. Neophodna je stalna kontrola parametara za bolji kvalitet finalnog proizvoda.

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Postupak glodanja je veoma dinamičan proces, pa na konačnu površinsku hrapavost utiče veliki broj faktora. Ovi faktori mogu biti kontrolisani, u koje spadaju: brzina rezanja, pomak i dubina rezanja. Pored ova tri kontrolisana postoji i veći broj nekontrolisanih faktora, kao što su: vibracije, habanje alata, greške pri kretanju, nehomogenost materijala alata i radnog predmeta, itd [66].

Hrapavost obrađene površine se javlja kao rezultat tragova zuba glodala nakon zahvata. Na oblik ovih tragova utiču: razmak između zuba, korak po zubu, prečnik zuba, način glodanja, razlika u visini zuba, deformacija vretena.

Na slici 2.13. prikazana je zavisnost parametra hrapavosti R_a od datih režima obrade pri čeonom glodanju. Kao što se vidi na slici hrapavost se sa porastom pomaka povećava neznatno do određene vrednosti kada dolazi do promene u nagli porast R_a . Kada je u pitanju dubina rezanja, kriva pokazuje promenu u vidu eksponencijalne funkcije, što znači da hrapavost pri porastu dubine raste, kao što je slučaj i kod pomaka, ali znatno brže.



Slika 2.13. Uticaj brzine rezanja (v), dubine (a), pomaka (s) i napadnog ugla (κ) na parametar hrapavosti R_a [67].

Najinteresantniji slučaj je kod brzine rezanja, tj. broja obrtaja glavnog vretena. Uticaj brzine rezanja je povezan sa nastajanjem naslage. Na prvom grafiku, na pomenutoj slici, vidi se da pri malim brzinama rezanja hrapavost raste do određene vrednosti, upravo zbog nastajanja i porasta naslage sve do momenta stabilizacije, nakon čega vrednost R_a naglo opada. Kod još većih brzina rezanja, van oblasti obrazovanja naslage, visina neravnina je najmanja. Zaključak je da se pri većim brzinama obrade dobija bolji kvalitet obrađene površine.

Značaj i analiza hrapavosti obrađene površine su veliki ne samo kod obrade glodanjem nego i kod ostalih obrada kako onih sa skidanjem, tako i onih bez skidanja materijala. Vrednost hrapavosti površinskih slojeva radnog predmeta, utiče na:

- Smanjenje dinamičke izdržljivosti,
- Pojačano trenje i habanje tribološki opterećenih površina,

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

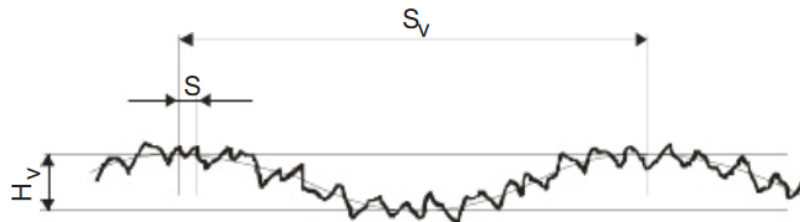
- Smanjenje preklopa kod steznih spojeva, samim tim i smanjenje nosivosti steznog spoja i
- Ubrzavanje korozije.

Obrada glodanjem može biti gruba, prethodna ili fina obrada, sa klasom kvaliteta i do N5, u zavisnosti od proizvodnih zahteva. Obično kod elemenata kod kojih je tražen visok kvalitet obrađene površine, obrada glodanjem prethodi brušenju, honovanju ili poliranju.

Osnovne karakteristike mikrogeometrije obrađene površine su, slika 2.14.:

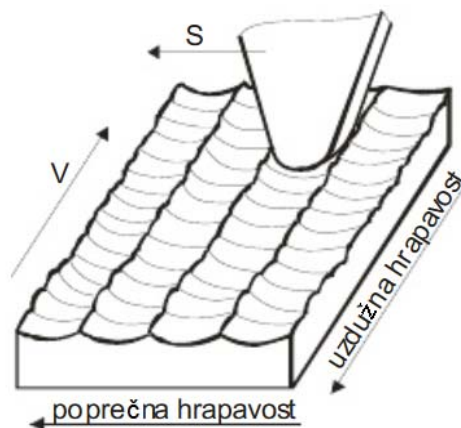
- valovitost
- hrapavost obrađene površine.

Valovitost obrađene površine je definisana neravninama kod kojih je odnos koraka (S_v) i visine neravnina (H_v) iznad 40 ($S_v/H_v \geq 40$). Hrapavost obrađene površine čine neravnine kod kojih je odnos koraka ($S=2 - 800 \mu\text{m}$) i visine neravnina ($H=0,03 - 400 \mu\text{m}$) ispod 40.



Slika 2.14. Valovitost i hrapavost obrađene površine [1]

Hrapavost je skup svih neravnina koje obrazuju reljef površine u granicama odabranog isečka takve veličine da su eliminisane greške oblika i valovitosti. Hrapavost površine je prouzrokovana i zavisi od uslova rezanja, posebno oblika alata, stanja reznih ivica alata, habanja reznih elemenata alata, naslaga, vibracija, krutosti elemenata tehnološkog sistema i sl. Razlikuju se poprečna i uzdužna hrapavost, slika 2.15.



Slika 2.15. Poprečna i uzdužna hrapavost obrađene površine [1]

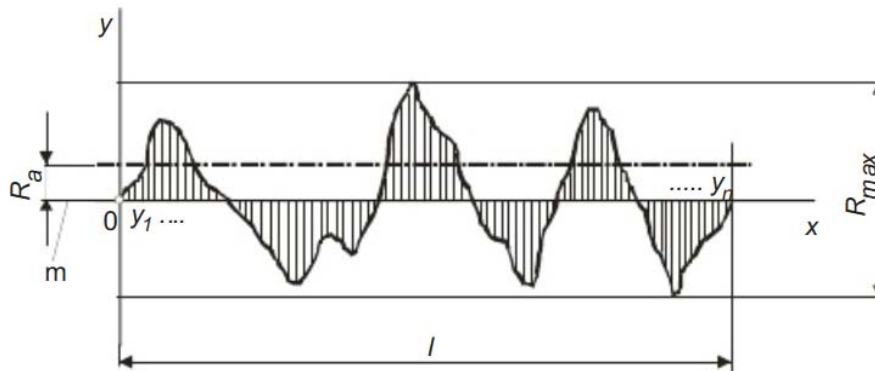
Parametari hrapavosti

Za praćenje hrapavosti obrađene površine postoji više od 30 parametara. Mogu se razdvojiti na osnovne i dopunske. Tri osnovna parametra hrapavosti su:

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

- R_a - srednje aritmetičko odstupanje profila od srednje linije profila,
- R_z - srednja visina neravnina i
- R_{max} - maksimalna visina neravnina.

Za njihovo definisanje koriste se dva osnovna parametra: m (osa x slika 2.16) - srednja linija profila i l - referentna dužina.



Slika 2.16. Parametri hrapavosti površina [1]

Srednja linija profila - m (osa x - slika 2.16) je linija koja seče profil obrađene površine tako da je, u granicama referentne dužine, zbir kvadrata odstupanja svih tačaka profila minimalan, odnosno:

$$\sum_{i=1}^n y_i^2 \rightarrow \min. \quad (2.18)$$

Referentna dužina - l je minimalna dužina isečka profila površine, neophodna za pouzdano definisanje parametara hrapavosti, na kojoj su eliminisani uticaji drugih vrsta nepravilnosti (valovitost, greške oblika itd.).

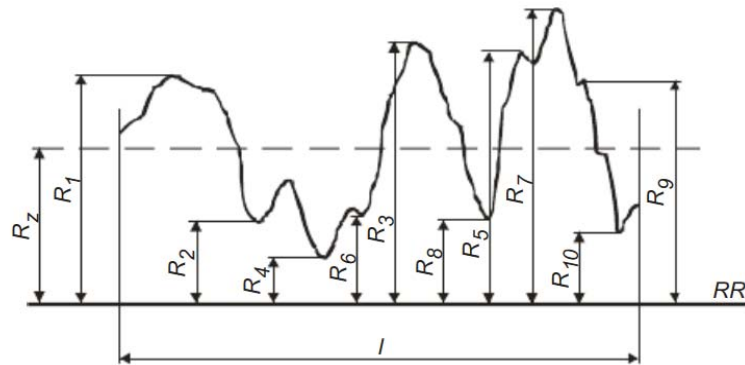
Srednje aritmetičko odstupanje profila od srednje linije profila - R_a (slika 2.16) je srednja aritmetička vrednost odstupanja svih tačaka efektivnog profila (y_1, y_2, \dots, y_n) od srednje linije profila u granicama referentne dužine. To znači da je:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| \cdot dx. \quad (2.19)$$

Maksimalna visina neravnina - R_{max} (slika 2.16) je rastojanje dve prave paralelne sa srednjom linijom profila, povučene tako da, u granicama referentne dužine profila, dodiruju najvišlju i najnižu tačku profila.

Srednja visina neravnina - R_z (slika 2.17) je razlika srednjih aritmetičkih vrednosti pet najviših i pet najnižih tačaka profila u granicama referentne dužine:

$$R_z = \frac{R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9}{5} - \frac{R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10}}{5} \quad (2.20)$$



Slika 2.17. Srednja visina neravnina [1]

Sve više istraživanja u proizvodnim procesima i sistemima procenjuje procese u cilju poboljšanja svoje efikasnosti, produktivnosti i kvaliteta. Kvalitet gotovih proizvoda definisan je koliko se ovi gotovi proizvodi pridržavaju određenih specifikacija, uključujući dimenzije i kvalitet površine. Površina kvaliteta je definisana i identifikovana kombinacijom površine, teksture površine i hrapavosti podloge. Hrapavost (R_a) je najčešći indeks za određivanje kvaliteta površine [58].

Proizvodni procesi ne dozvoljavaju postizanje teoretske hrapavosti zbog nedostataka koji se pojavljuju na obrađenoj površini i uglavnom je generisan nedostatak i neujednačenost u procesu. Zahvaljujući ovim aspektima, merni postupci su neophodni, jer dozvoljavaju da se utvrdi stvarno stanje površine za proizvodnju delova sa većom tačnošću. Da bi poznavali kvalitet površine, potrebno je koristiti teorijske modele, ako je to izvodljivo, u cilju predviđanja funkcija parametara odziva [69].

Hrapavost obrađene površine zavisi od mnogo parametara kao što su svojstva alata, materijala alata, materijala obrade, geometrije i krutosti mašine alatke; obradnih parametara. Naime brzina rezanja, pomak i dubina rezanja se smatraju najznačajnijim. U radu [70], parametri obrade brzina rezanja, pomak, dubina rezanja i bočno habanje su izabrani po uzoru na hrapavost pri obradi ugljeničnih čelika sa pločicama od tvrdog metala. Prva tri faktora su elementi rezanja, a četvrti faktor je parametar habanja alata.

Naredni rad [71] pokazuje zavisnost površinske hrapavosti i formiranje korena strugotine pri velikim brzinama rezanja kod čeonog glodanja čelika AISI H13. Takođe su ispitivane, pored hrapavosti i sile rezanja koje se javljaju pri obradi. Autori u radu prikazuju hijerarhijski uticaj pojedinih faktora koji se variraju a sve u cilju praćenja izlaznih karakteristika procesa, odnosno hrapavosti površine i sile rezanja. Po uticajnosti se redaju varirani faktori i to dubina rezanja, brzina kretanja stola i brzina rezanja. Takođe je izvršena podela shodno tome da li su u pitanju zavisnosti pri visoke odnosno niske brzine rezanja. Takođe razvijena tendencija promene hrapavost površine dobijena na osnovu različitih brzina rezanja se može proceniti i putem posmatranja korena strugotine, uzimajući u obzir oblik i boju strugotne deobijene prilikom procesa obrade.

2.5. Modeliranje procesa primenom višefaktornog plana eksperimenta - DoE

Modelom se iskazuju bitne osobine nekog objekta, procesa ili sistema. Sam matematički model sastoji se od sistema jednačina, stanja i algoritamskih pravila. Pri postavljanju matematičkog modela koriste se osnovni izvori informacija.

Osnovni cilj matematičkog modeliranja jeste:

- proračunavanje i analiza objekta, procesa ili sistema u cilju dobijanja, novih i potpunijih znanja i zakonitosti o proučavanom procesu;
- otkrivanje mehanizama međusobnog dejstva unutar proučavanog procesa;
- provera postavljenih hipoteza o zakonitostima i mehanizmima unutrašnjih međudejstava i sistema;
- prognoziranje stanja i ponašanja procesa, sistema i pojava;
- optimizacija na osnovu postavljenih kriterijuma optimizacije;
- upravljanje objektima, procesima ili sistemima u prostoru i vremenu [72].

Osnovne karakteristike višefaktornih eksperimentalnih planova su minimalni skup eksperimentalnih tačaka unutar eksperimentalnog hiperpostora (višestruko niži troškovi i kraće vreme trajanja skupih eksperimentalnih ispitivanja) kao i maksimalni skup informacija o efektima matematičkog modela procesa koji je formiran zahvaljujući istraživanju prema kibernetском pristupu.

Prva etapa eksperimentalnih istraživanja je prikupljanje, proučavanje i analiza svih raspoloživih i relevantnih informacija o objektu istraživanja. Rezultati prve etape su: spisak uticajnih faktora (po mogućnosti rangiran prema stepenu uticaja), granica rasipanja i druga obeležja faktora, kriterijumi i parametri optimizacije u skladu sa postavljenim ciljem i slično. Ukoliko je broj uticajnih faktora veliki, neophodno je odvojiti manji broj značajnih od većeg broja manje uticajnih, primenom odgovarajućih metoda.

Najrasprostranjeniji višefaktorni modeli su eksperimenti kod kojih se faktori variraju u dva nivoa (maksimalna i minimalna vrednost), pri čemu se srednja vrednost faktora ne tretira kao nivo variranja. To su eksperimenti tipa:

$$N = 2^k + n_0, \quad (2.21)$$

gde je: k – broj faktora (promenljivih), n_0 – broj promenljivih eksperimenata.

Plan matrice višefaktornog plana mora zadovoljavati uslove simetričnosti, normalnosti i ortogonalnosti.

Ortogonalnost plana je jedna vrlo značajna karakteristika eksperimentalnog plana. Matematički se definiše:

$$\sum x_{iu} x_{ju} = 0, \quad i \neq j; \quad i, j = 0, 1, 2, \dots, k. \quad (2.22)$$

Ova karakteristika plana znači da se informaciona matrica i disperziona matrica pretvara u dijagonalnu. To znači da se koeficijenti regresije izračunavaju (ocenuju) nezavisno jedan od drugog. Time se veoma uprošćava proračun ovih koeficijenata.

Neki plan se naziva rotabilan ako je disperzija vrednosti višestruke regresije funkcija rastojanja od centra plana. To znači da je disperzija konstanta u svim tačkama podjednako udaljenim od centra eksperimentalnog plana.

Kriterijum kompozitivnosti određenog eksperimentalnog plana omogućuje da se eksperimentalni plan rastavi na sukcesivni niz planova. Prvi ciklus počinje sa jednostavnijim planom – planom prvog reda. Drugi i naredni ciklus su složeniji planovi - planovi drugog reda i narednih redova. Pri tome se pri obradi eksperimentalnih rezultata na kraju nekog plana ili ciklusa koriste i rezultati planova prethodnog ciklusa [73-75]. Primena dizajna faktornog plana eksperimenta (DoE) u prikazivanju tj. analizi rezultata je veoma zastupljena. Oblast primene je široka, i to se vidi kroz literaturne izvore [76-79] gde su zastupljene različite sfere naučnih istraživanja.

2.5.1. Trofaktorni planovi drugog reda

Za nelinearne polinomne funkcije odziva drugog reda Box i Wilson su postavili poseban metod [80] u osnovi kojeg je sadržan centralni kompozicioni plan. Pomoću ovog plana može se:

- Identifikovati optimalnu oblast sa optimalnom tačkom na nepoznatoj površini funkcije odziva.
- Matematički modelirati optimalnu oblast adekvatnim polinomom drugog ili višeg reda.
- Definisati tolerancijske granice optimalnog područja svake od promeljivih višefaktornog objekta.

Kovač [62] u svojim radovima detaljno daje mogućnosti rešavanja analitičkih problema u procesima obrade materijala. Detaljno razrađuje i postavlja tipove jednačina koji aproksimiraju određenu posmatranu veličinu (sile rezanja, postojanost alata, temperaturu u zoni rezanja), dajući odgovor na to da li je postavljeni tip jednačine adekvatan, odnosno da li su izabrani parametri signifikantni, tj. značajni.

2.5.1.1. Centralni kompozicioni planovi drugog reda

Centralni kompozicioni plan drugog reda je jedan od osnovnih pojmova u teoriji regresionih modela drugog reda. Kompozicija ovog plana je sledeća. Ako se u prvom ciklusu pokaže da su regresioni modeli prvog reda

$$\hat{y} = b_0 x_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i, \quad (2.23)$$

neadekvatni ili nepotpuni model sa međusobnim uticajima,

$$\hat{y} = b_0 x_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i<j}^k b_{ij} x_i x_j \quad (2.24)$$

čije su teorije izložene ranije, takođe pokaže neadekvatnim, modeliranje se nastavlja izborom jednog ili više modela drugog reda,

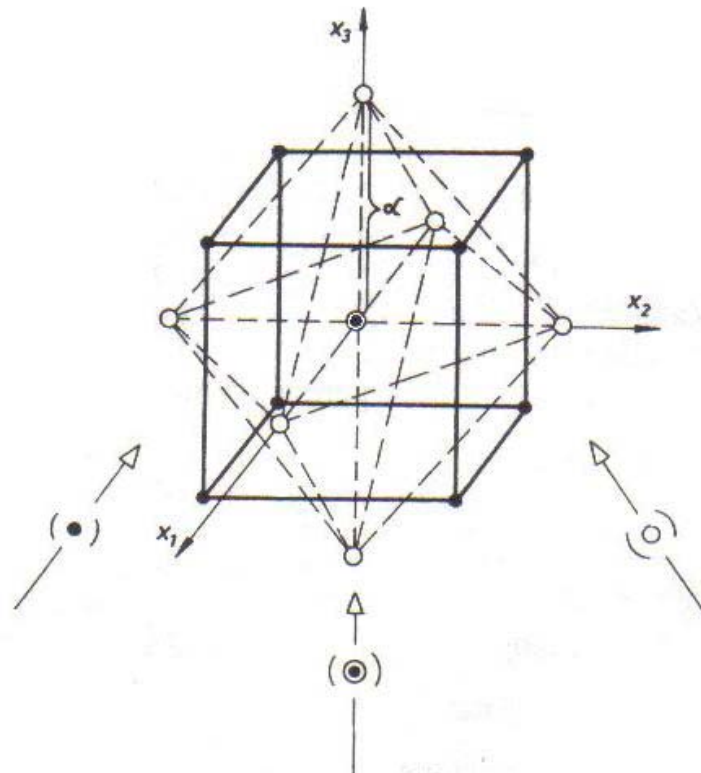
$$\hat{y} = b_0 x_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j}^k b_{ij} x_i x_j \quad (2.25)$$

sve do modela koji se pokaže adekvatnim.

U strukturi ovih modela nalaze se članovi međusobnih uticaja prvog reda $x_i x_j$ i članovi drugog reda x_i^2 , bez trostrukih međusobnih uticaja faktora.

U cilju izbegavanja odstupanja usled sistematskih poremećaja, kompletan skup eksperimentalnih opita se izvodi slučajnim redosledom. Često je moguće izvesti ograničene grupe opita unutar više homogenih stanja. Moguće je veću tačnost postići deljenjem planova u blokove i uvođenjem opita unutar bloka slučajnim redosledom.

Mogućnost komponovanja ovih planova može da se vidi na slici 2.18. U prvom ciklusu se najčešće polazi od jednostavnih modelskih oblika i ortogonalnih planova nižeg reda. Zatim se nastavlja ukoliko se pokaže ovakav model neadekvatnim sa drugim ciklusom i uzima se model sa međusobnim uticajima. Pošto između višefaktornih planova prvog i višeg reda postoji međusobna povezanost, planovi višeg reda se komponuju tako da se ceo skup postojećih eksperimentalnih tačaka koristi u planu višeg reda. Ostaje onda samo da se izvedu dopunski eksperimenti u skladu sa planovima drugog reda. Na taj način se ostvaruje kontinuitet istraživanja kroz uzastopne cikluse. Takođe se na ovaj način postižu niži troškovi i kraće vreme istraživanja.



$$X = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} -\alpha & 0 & 0 \\ \alpha & 0 & 0 \\ 0 & -\alpha & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha \\ 0 & 0 & \alpha \end{bmatrix}$$

Slika 2.18. Mogućnost komponovanja planova drugog reda

2.5.1.2. Regresiona analiza

Matematički model u stvarnim koordinatama ima oblik:

$$R = CF_1^{p_1} F_2^{p_2} F_3^{p_3} \exp \left[p_{11} (\ln F_1)^2 + p_{22} (\ln F_2)^2 + p_{33} (\ln F_3)^2 + p_{12} \ln F_1 \ln F_2 + p_{13} \ln F_1 \ln F_3 + p_{23} \ln F_2 \ln F_3 \right] \quad (2.26)$$

gde je: $C = \exp(p_0)$;
 $R = \exp(\hat{y})$.

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Logaritmovanjem ove jednačine dobija se:

$$\hat{y} = p_0 + p_1 \ln F_1 + p_2 \ln F_2 + p_3 \ln F_3 + p_{11} (\ln F_1)^2 + p_{22} (\ln F_2)^2 + p_{33} (\ln F_3)^2 + p_{12} \ln F_1 \ln F_2 + p_{13} \ln F_1 \ln F_3 + p_{23} \ln F_2 \ln F_3, \quad (2.27)$$

dok je model u kodiranim koordinatama:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3. \quad (2.28)$$

Koeficijenti b_i , b_{ij} , b_{ii} se određuju metodom najmanjih kvadrata na osnovu formule u matematičkom obliku:

$$B = (X' \cdot X)^{-1} \cdot X' \cdot Y \quad (2.29)$$

gde je: B - matrica koeficijenata b_i , b_{ij} , b_{ii} koji se određuju

X - matrica plana eksperimenta

X' - transponovana matrica matrice X

$(X'X)^{-1}$ - inverzna matrica proizvoda matrice X 'X

Y - matrica logaritmovanih vrednosti merene veličine

2.5.1.2.1. Kodiranje i izbor faktora eksperimenta

Da bi se pojednostavila obrada podataka pomoću jednačine (2.29) vrši se kodiranje faktora eksperimenta pomoću jednačine:

$$x_i = 1 + 2 \frac{\ln F_u - \ln F_{i1}}{\ln F_{i1} - \ln F_{i2}}; \quad i = 1, 2; \quad u = 1 \div 3; \quad (2.30)$$

gde je: F_{i5} - kodirano $x_i = -\sqrt{2}$ najniža vrednost faktora

F_{i2} - kodirano $x_i = -1$ niža vrednost faktora

F_{i3} - kodirano $x_i = 0$ srednja vrednost faktora

F_{i1} - kodirano $x_i = +1$ viša vrednost faktora

F_{i4} - kodirano $x_i = +\sqrt{2}$ najviša vrednost faktora

Za srednju vrednost faktora važi:

$$F_{i3}^2 = F_{i1} \cdot F_{i2} \quad (2.31)$$

Broj eksperimenata uključujući i srednji nivo zbog provere tačnosti $k = 3$ faktornog eksperimenta uvećava se za $n_0 = 4$ i $n_\alpha = 12$, pa je:

$$N = 2^k + n_0 + n_\alpha = 2^3 + 4 + 12 = 24.$$

Plan matrica ovako definisanih eksperimenta ima sledeći oblik:

$$X = \begin{bmatrix}
 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\
 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\
 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\
 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\
 1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\
 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\
 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & -\sqrt{2} & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & -\sqrt{2} & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & -\sqrt{2} & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & -\sqrt{2} & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & -\sqrt{2} & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & -\sqrt{2} & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & \sqrt{2} & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix} \tag{2.32}$$

U korišćenom matematičkom modelu se nalaze uticaji drugog reda, pri čemu je $\alpha = \sqrt{2}$.

2.5.1.2.2. Određivanje koeficijenata regresije

Inverzna matrica proizvoda matrica X i X' jeste:

$$(X'X)^{-1} = \frac{1}{48} \cdot \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 & 0 & -4 & -4 & -4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -4 & 0 & 0 & 0 & 4 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

Množenjem matrica X' i Y dobija se matrica kolona:

$$X' \cdot Y = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{24} y_i \\ -y_1 + y_2 - y_3 + y_4 - y_5 + y_6 - y_7 + y_8 + \sqrt{2}(-y_{13} + y_{14} - y_{19} + y_{20}) \\ -y_1 - y_2 + y_3 + y_4 - y_5 - y_6 + y_7 + y_8 + \sqrt{2}(-y_{15} + y_{16} - y_{21} + y_{22}) \\ -y_1 - y_2 - y_3 - y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + \sqrt{2}(-y_{17} + y_{18} - y_{23} + y_{24}) \\ \sum_{i=1}^8 y_i + 2(+y_{13} + y_{14} + y_{19} + y_{20}) \\ \sum_{i=1}^8 y_i + 2(+y_{15} + y_{16} + y_{21} + y_{22}) \\ \sum_{i=1}^8 y_i + 2(+y_{17} + y_{18} + y_{23} + y_{24}) \\ y_1 - y_2 - y_3 + y_4 + y_5 - y_6 - y_7 + y_8 \\ y_1 - y_2 + y_3 - y_4 - y_5 + y_6 - y_7 + y_8 \\ y_1 + y_2 - y_3 - y_4 - y_5 - y_6 + y_7 + y_8 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

Koeficijenti regresije su:

$$b_0 = \frac{1}{48} \left[10 \sum_{i=0}^{24} y_i - 4 \left(3 \sum_{i=1}^8 y_i + 2 \sum_{i=13}^{24} y_i \right) \right]$$

$$b_1 = \frac{3}{48} \left[-y_1 + y_2 - y_3 + y_4 - y_5 + y_6 - y_7 + y_8 + \sqrt{2}(-y_{13} + y_{14} - y_{19} + y_{20}) \right]$$

$$b_2 = \frac{3}{48} \left[-y_1 + y_2 - y_3 + y_4 - y_5 - y_6 + y_7 + y_8 + \sqrt{2}(-y_{15} + y_{16} - y_{21} + y_{22}) \right]$$

$$b_3 = \frac{3}{48} \left[-y_1 - y_2 - y_3 - y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + \sqrt{2}(-y_{17} + y_{18} - y_{23} + y_{24}) \right]$$

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

$$\begin{aligned}
 b_{11} &= \frac{1}{48} \left[-4 \sum_{i=1}^{24} y_i + 6 \sum_{i=1}^8 y_i + 6(y_{13} + y_{14} + y_{19} + y_{20}) + 2 \sum_{i=13}^{24} y_i \right] \\
 b_{22} &= \frac{1}{48} \left[-4 \sum_{i=1}^{24} y_i + 6 \sum_{i=1}^8 y_i + 6(y_{15} + y_{16} + y_{21} + y_{22}) + 2 \sum_{i=13}^{24} y_i \right] \\
 b_{33} &= \frac{1}{48} \left[-4 \sum_{i=1}^{24} y_i + 6 \sum_{i=1}^8 y_i + 6(y_{17} + y_{18} + y_{23} + y_{24}) + 2 \sum_{i=13}^{24} y_i \right] \\
 b_{12} &= \frac{6}{48} (y_1 - y_2 - y_3 + y_4 + y_5 - y_6 - y_7 + y_8) \\
 b_{13} &= \frac{6}{48} (y_1 - y_2 + y_3 - y_4 - y_5 + y_6 - y_7 + y_8) \\
 b_{23} &= \frac{6}{48} (y_1 + y_2 - y_3 - y_4 - y_5 - y_6 + y_7 + y_8).
 \end{aligned} \tag{2.35}$$

2.5.1.2.3. Dekodiranje trofaktornog modela drugog reda

Računski model sa kodiranim faktorima eksperimenta ima oblik:

$$\begin{aligned}
 \hat{y} &= b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \\
 &\quad + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + \\
 &\quad + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3.
 \end{aligned} \tag{2.36}$$

Posle uvrštavanja vrednosti za kodirane faktore x_i (2.30), uz uprošćenja (2.31) dobija se sledeća jednačina:

$$\begin{aligned}
 \hat{y} &= p_0 + p_1 \ln F_1 + p_2 \ln F_2 + p_3 \ln F_3 + \\
 &\quad + p_{11} (\ln F_1)^2 + p_{22} (\ln F_2)^2 + p_{33} (\ln F_3)^2 + \\
 &\quad + p_{12} \ln F_1 \ln F_2 + p_{13} \ln F_1 \ln F_3 + p_{23} \ln F_2 \ln F_3,
 \end{aligned} \tag{2.37}$$

pri čemu je:

$$\begin{aligned}
 p_0 &= b_0 + b_1 a_1 + b_2 a_2 + b_3 a_3 + \\
 &\quad + b_{11} a_1^2 + b_{22} a_2^2 + b_{33} a_3^2 + \\
 &\quad + b_{12} a_1 a_2 + b_{13} a_1 a_3 + b_{23} a_2 a_3 \\
 p_1 &= A_1 (b_1 + 2b_{11} a_1 + b_{12} a_2 + b_{13} a_3) \\
 p_2 &= A_2 (b_2 + 2b_{22} a_2 + b_{12} a_1 + b_{23} a_3) \\
 p_3 &= A_3 (b_3 + 2b_{33} a_3 + b_{13} a_1 + b_{23} a_2) \\
 p_{11} &= b_{11} A_1^2 \\
 p_{22} &= b_{22} A_2^2 \\
 p_{33} &= b_{33} A_3^2 \\
 p_{12} &= b_{12} A_1 A_2 \\
 p_{13} &= b_{13} A_1 A_3 \\
 p_{23} &= b_{23} A_2 A_3
 \end{aligned} \tag{2.38}$$

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Antilogaritmovanjem se dobija matematički model u stvarnim koordinatama:

$$R = CF_1^{p_1} F_2^{p_2} F_3^{p_3} \exp \left[p_{11} (\ln F_1)^2 + p_{22} (\ln F_2)^2 + p_{33} (\ln F_3)^2 + p_{12} \ln F_1 \ln F_2 + p_{13} \ln F_1 \ln F_3 + p_{23} \ln F_2 \ln F_3 \right] \quad (2.39)$$

gde je: $C = \exp(p_0)$;
 $R = \exp(\hat{y})$.

2.5.1.3. Disperziona analiza

Za ocenu signifikantnosti koeficijenata suma kvadrata i disperzioni odnosi će biti:

$$\begin{aligned} S_{b_0} &= \frac{48}{10} b_0^2 & s_{b_0}^2 &= \frac{S_{b_0}}{I} & F_{r_0} &= \frac{s_{b_0}^2}{s_E^2} \\ S_{b_i} &= \frac{48}{3} b_i^2 & s_{b_i}^2 &= \frac{S_{b_i}}{I} & F_{r_i} &= \frac{s_{b_i}^2}{s_E^2} \\ S_{b_{ii}} &= \frac{48}{4} b_{ii}^2 & s_{b_{ii}}^2 &= \frac{S_{b_{ii}}}{I} & F_{r_{ii}} &= \frac{s_{b_{ii}}^2}{s_E^2} \\ S_{b_{ij}} &= \frac{48}{6} b_{ij}^2 & s_{b_{ij}}^2 &= \frac{S_{b_{ij}}}{I} & F_{r_{ij}} &= \frac{s_{b_{ij}}^2}{s_E^2} \end{aligned} \quad (2.40)$$

Kako su svi stepeni slobode $f_1 = f_i = 1$, disperzija u eksperimentalnim tačkama gde ima ponavljanja se računa:

$$S_{EA} = \sum_{u=9}^{12} (y_u - y_{sr})^2; \quad y_{sr} = \frac{1}{4} \sum_{u=9}^{12} y_u \quad (2.41)$$

$$\begin{aligned} S_{EB} &= \left[y_{13} - \left(\frac{y_{13} + y_{19}}{2} \right) \right]^2 + \left[y_{19} - \left(\frac{y_{13} + y_{19}}{2} \right) \right]^2 + \\ &+ \left[y_{14} - \left(\frac{y_{14} + y_{20}}{2} \right) \right]^2 + \left[y_{19} - \left(\frac{y_{14} + y_{20}}{2} \right) \right]^2 + \dots \end{aligned} \quad (2.42)$$

$$\begin{aligned} S_{EB} &= \sum_{i=0}^s \frac{(y_{13+i} - y_{19+i})^2}{2} \\ S_E &= S_{EA} + S_{EB} \\ S_E^2 &= \frac{S_E}{f_E}. \end{aligned} \quad (2.43)$$

Kako postoji ponavljanje u nultoj tački i dva ponavljanja u dve tačke plana stepen slobode će biti:

$$f_E = n_0 - 1 + 2(n_u - 1) = 4 - 1 + 2(2 - 1) = 3 + 2 = 5.$$

Rezidualna suma jeste:

$$S_R = \sum_{i=1}^{24} (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.44)$$

$$s_R^2 = \frac{S_R}{f_R} \quad (2.45)$$

$$f_R = N - \frac{(k+1)(k+2)}{2} = 24 - \frac{4 \cdot 5}{2} = 14$$

$$s_a^2 = \frac{S_R - S_E}{f_a} \quad (2.46)$$

$$f_a = f_R - f_E = 14 - 5 = 9.$$

Za signifikantnost tablična vrednost koeficijenta Fišerove raspodela je:

$$F_{t(1.5)} = 6,61.$$

Za adekvatnost tablična vrednost koeficijenta Fišerove raspodela je:

$$F_a = \frac{s_a^2}{s_E^2}; \quad F_{t(9.5)} = 4,47; \quad (2.47)$$

2.5.1.4. Ocena tačnosti matematičkog modela

Ocena tačnosti se vrši pomoću intervala poverenja:

$$y_R \pm t_{cf} \sqrt{\sigma(y)^2}. \quad (2.48)$$

Tablična vrednost prema Studentovoj raspodeli je:

$$t_{cf} = t_{0.05, 14} = 2,145.$$

Za centralnu tačku standardna devijacija je:

$$\sigma(y)^2 = \frac{10}{48} s_R^2, \quad (2.49)$$

dok je za tačke na rogljevima modela:

$$\sigma(y)^2 = \frac{1}{48} (10 + 3 + 3 + 3 + 3 + 3 \cdot 4 + 3 \cdot 6 - 2 \cdot 3 \cdot 4 + 2 \cdot 3 \cdot 1) = \frac{31}{48} s_R^2. \quad (2.50)$$

Za tačke izvan kuba standardna devijacija jeste:

$$\sigma(y)^2 = \frac{1}{48} [10 + 4 \cdot 3 + 4 \cdot 4 \cdot 4 - 2(1 \cdot 2)^2 \cdot 4] = \frac{54}{48} s_R^2. \quad (2.51)$$

2.6. Primena veštačke inteligencije u procesima obrade

Po strukturi i problemima upravljanja nova proizvodnja ima malo sličnosti iz 50-tih godina prošlog veka. Temelji na kojima počiva današnja proizvodnja su zahtevi tržišta, nova proizvodna filozofija bazirana na znanju, napredne proizvodne i informacione tehnologije, novi materijali i savremeni obradni i proizvodni sistemi. Najveće promene u tehničko-tehnološkom razvoju u istoriji čovečanstva odigrale su se poslednjih pedeset godina zahvaljujući brzom razvoju tehnike i pojavi računara. Posebnu ulogu u automatizaciji i poboljšanju proizvodnih procesa ima veštačka inteligencija.

VI se može smatrati eksperimentalnom naukom u kojoj se eksperimenti vrše na računaru u okviru modela koji su izraženi programima i čijim se testiranjem i dorađivanjem postižu neki modeli ljudske inteligencije. Pod algoritmom obično podrazumevamo uređen konačan niz precizno definisanih operacija koje mogu biti izvršene na računaru.

Koncept osnovne strukture veštačke inteligencije

Empirijskim definisanjem, odnosno pronalaženjem zajedničkog u sistemima (programima) koji spadaju u domen veštačke inteligencije, može se napraviti osnovna razgraničenja između konvencionalnih programa i programa veštačke inteligencije [81, 82]:

□ **Simboličko umesto numeričkog izračunavanja**

Osnovna karakteristika po kojoj se pravi razlika između metoda veštačke inteligencije (VI) i numeričkih metoda je bazična jedinica izračunavanja koja u VI predstavlja simbol, a ne broj. Naravno, sama ova činjenica nije dovoljna da bi se razlikovali programi VI.

□ **Nealgoritamski pristup rešavanju problema**

Druga karakteristika programa VI je ta da, se struktura programa ne izražava eksplicitno algoritmom, tj. sekvencom koraka koje program izvršava pri rešavanju određenog problema. Klasični programi obično slede dobro definisane algoritme koji tačno specificiraju kako se na osnovu ulaznih varijabli mogu dobiti izlazne veličine (proceduralno programiranje). Kod programa VI, niz koraka koje program prati i izvršava zavisi od konkretnog problema koji se rešava; program određuje kako odabrati sekvencu koraka koji vode ka rešenju problema (deklarativno programiranje).

□ **Zaključivanje zasnovano na znanju**

Treća karakteristika programa VI je da oni uključuju činjenice i relacije o delu realnog sveta ili "domena znanja" u kome funkcionišu. Za razliku od klasičnih programa za posebne namene programi VI mogu da prave razliku između rezonovanja (mehanizma zaključivanja) i postojećeg znanja (baza znanja). Kako je baza znanja eksplicitna i izdvojena od mehanizma zaključivanja, program može da "razmišlja" o svom sopstvenom znanju kao o ulaznim podacima.

□ **Primenljivost kod loše strukturiranih problema i podataka**

Četvrta karakteristika VI odnosi se na njihovu efikasnost u radu sa loše strukturiranim problemima. Kod takvih problema, klasični programi su uglavnom neprimenjivi. Problem se tretira kao loše strukturiran ukoliko se algoritam za njegovo rešavanje ne može izraziti eksplicitno ili ukoliko su neophodni podaci nekompletni, odnosno neprecizno specificirani.

U sledećoj tabeli su sumirane osnovne razlike između pristupa veštačke inteligencije i konvencionalnog programiranja.

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Tabela 2.2. Razlike između veštačke inteligencije i konvencionalnog programiranja

| Veštačka inteligencija | Konvencionalno programiranje |
|---|---|
| Pretežno simbolička obrada | Pretežno numerička obrada |
| Heurističko pretraživanje | Algoritmi |
| Upravljačke strukture su najčešće izdvojene od znanja | Informacije i upravljanje integrirani zajedno |
| Jednostavno modificiranje, ažuriranje i proširivanje | Teško modificiranje |
| Tolerišu se pogrešni odgovori | Neophodni su tačni odgovori |

Intelligentnim sistemima nazivamo programske sisteme i druge praktične rezultate VI, odnosno posledicu jedne od neformalnih definicija VI (kao oblasti računarstva koja je posvećena intelligentnim sistemima): entiteti koji imaju sposobnost intelligentnog ponašanja koje srećemo kod ljudi. Međutim, ovakav pristup definisanju ima dodatnu slabost. U oblastima kakve su mašinsko učenje ili ekspertni sistemi, javlja se potreba za rešavanjem problema kojima treba prevazići neki ljudski nedostatak. Na primer, velika količina znanja kojim je teško upravljati čak i uz pomoć većeg broja ljudi - formalna definicija u uvodnom poglavlju ne ostavlja nedoumice u tom pogledu, ali ne objašnjava potrebu i način na koji ljudi žele da upravljaju znanjem. Jedna od oblasti veštačke inteligencije sa svojim podoblastima je računarska inteligencija (*soft computing*): fazi logika i sistemi, neuronske mreže, genetski algoritmi, primene u automatskom odlučivanju i upravljanju [83].

Ova oblast računarstva je danas jedna od najdinamičnijih u smislu novih teoretskih otkrića, ali i novih praktičnih primena. Jedna od osnovnih zajedničkih osobina različitih disciplina računarske inteligencije jeste borba sa kompleksnošću i nepreciznošću konceptualizacije i percepcije sveta (pored pojma modela računanja) - jednostavnost konceptualizacije je suprotstavljena sa kompleksnošću i nejasnoćom realnog sveta, ali je isto tako složenost konceptualizacije usko grlo primenljivosti i efikasnosti u veštačkoj inteligenciji. Mnoge podoblasti nisu još uvek dovoljno dobro proučene - bilo da su tek u nastajanju ili se preispituju nove mogućnosti i produbljuju teoretske osnove kao što je kod fazi sistema slučaj.

U mozgu se skup informacija, to jest znanje, smešta *distribuirano*. Otkaz jednog neurona ne znači da je bilo koja informacija izgubljena ili bar ne u potpunosti. Sve ovo ilustruje zašto su ljudi jako zainteresovani za razvoj novih arhitektura, vrlo sličnih neurobiološkim. U tom smislu mogu se uočiti glavni pravci razvoja ovakvih struktura [84]:

- ekspertni sistemi
- fazi logika
- veštačke neuronske mreže
- genetski algoritmi
- genetsko programiranje

2.6.1. Veštačke neuronske mreže

Veštačke neuronske mreže (VNM) se u današnje vreme koriste u gotovo svim oblastima nauke i tehnike, pa i u mašinstvu. Tehnološki parametri obrade su veličine koje zavise od velikog broja faktora. Za određivanje nekih parametara ne postoje egzaktni obrasci i procedure, tako da se u većini slučajeva koriste iskustvene vrednosti, pri čemu se koriste razne knjige, tabele, grafici i sl.. Ovde neuronske mreže mogu biti od velike koristi. Umesto detaljnog proračunavanja

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

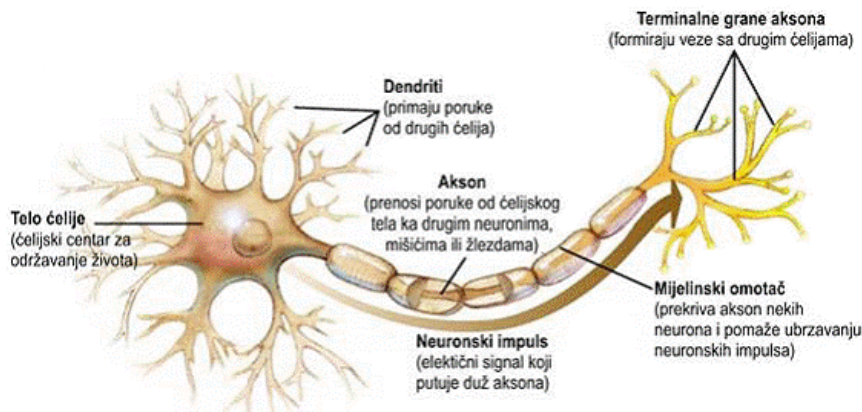
parametara obrade, kreira se neuronska mreža koja može, nakon pravilno izvršenog procesa obučavanja, da predvidi nepoznate parametre obrade.

Neuronske mreže ili uopšteno neurosistemi predstavljaju jedinstvenu metodologiju kojom se znanje prikuplja iz skupova podataka za obučavanje i smešta u distribuiranom obliku u definisanu strukturu mreže. Neuro mreže izgrađene su od jednostavnih visoko međusobno povezanih procesnih jedinica nazvanih neuroni. Distribuirana reprezentacija znanja nažalost ne obezbeđuje razumljivu interpretaciju, što predstavlja suštinski nedostatak ove tehnologije.

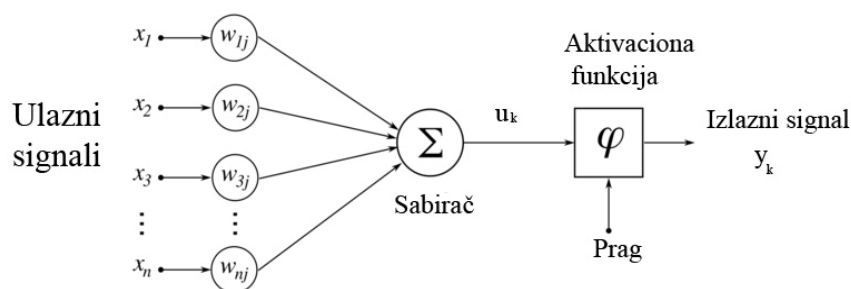
Veštačke neuronske mreže su po strukturi, funkciji i obradi informacija slične biološkim neuronskim mrežama, slika 2.19. Neuronska mreža u računarskim naukama predstavlja veoma povezanu mrežu elemenata koji obrađuju podatke. One su sposobne da izađu na kraj sa problemima koji se tradicionalnim pristupom teško rešavaju. Jedna od važnijih osobina neuronskih mreža je njihova sposobnost da uče na ograničenom skupu primera.

Neuronska mreža je sistem sastavljen od više jednostavnih procesora (jedinica, neurona), svaki od njih ima lokalnu memoriju u kojoj pamti podatke koje obrađuje, slika 2.20. Te jedinice su povezane komunikacionim kanalima (vezama). Podaci koji se ovim kanalima razmenjuju su obično numerički. Jedinice obrađuju samo svoje lokalne podatke i ulaze koje primaju preko konekcije. Ograničenja lokalnih operatora se mogu otkloniti tokom treninga. Osnovna jedinica nervnog sistema je neuron. Ona ima četiri osnovna dela:

- 1) ulazni deo ćelije,
- 2) telo ćelije,
- 3) izlazni deo ćelije, i
- 4) sinapse.



Slika 2.19. Model prirodnog neurona [85]



Slika 2.20. Model veštačkog neurona [85]

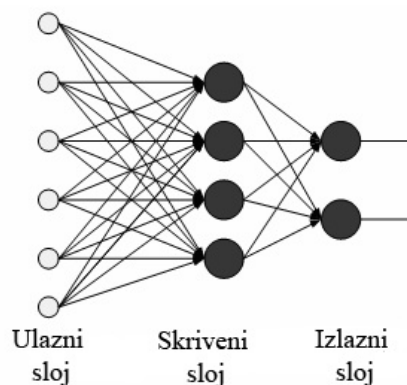
2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Ulazni deo ćelije sadrži skup razgranatih niti nazvanih dendriti. Telo ćelije obrađuje signale koje dobija od dendrita, na taj način dobijajući izlazni impuls koji se prosleđuje na sve krajeve razgranate niti nazvane aksonom, koji predstavlja izlazni deo ćelije.

Mesto gde se akson dodiruje sa dendritima neke druge ćelije se naziva sinapsa. To je mesto gde se impulsi prenose od jedne do druge nervne ćelije.

Učenje se kod bioloških sistema obavlja putem regulisanja sinaptičkih veza, koje povezuju aksone i dendrite neurona.

Sa pogledom na strukturu, veštačke neuronske mreže se dele na statičke (unapredne ili *Feedforward*) i dinamičke (povratne ili *Feedback*), zavisno o modelu neurona od kojeg su građene, i od načina prostiranja signala kroz mrežu. S obzirom na broj slojeva u kojima su raspoređeni neuroni, razlikuju se jednoslojne i višeslojne veštačke neuronske mreže. Kod mreža sa više slojeva, obično svaki sloj prima ulaze iz prethodnog sloja, a svoje izlaze šalje narednom sloju. Prvi sloj se naziva ulazni, poslednji je izlazni, ostali slojevi se obično nazivaju skrivenim slojevima. Jedna od najčešćih arhitektura neuronskih mreža je mreža sa tri sloja. Prvi sloj (ulazni) je jedini sloj koji prima signale iz okruženja. Ovaj ulazni sloj prenosi signale sledećem sloju (skriveni sloj) koji obrađuje ove podatke i izdvaja osobine i šeme iz primljenih signala. Podaci koji se smatraju važnim se upućuju izlaznom sloju, poslednjem sloju mreže. Na izlazima neurona trećeg sloja se dobijaju konačni rezultati obrade. Složenije neuronske mreže mogu imati više skrivenih slojeva, povratne petlje i elemente za odlaganje vremena, koji su dizajnirani da omoguće što efikasnije odvajanje važnih osobina ili šema sa ulaznog nivoa. Danas se uglavnom izučavaju i primenjuju višeslojne neuronske mreže koje pored ulaznih i izlaznih slojeva sadrže neurone na srednjim (skrivenim) slojevima, slika 2.21.



Slika 2.21. Višeslojne feedforward mreže

Da bi se VNM mogle uspešno primeniti za rešavanje problema (modeliranje, simulacija, optimizacija), koji se pojavljuju u procesima obrade, potrebno je dobro poznavati njihove karakteristike, koncept i korake koje treba sprovesti pri njihovom kreiranju.

Algoritmi učenja neuronskih mreža

Učenje je osnovna i suštinska osobina neuronskih mreža. Neuronske mreže uče na primerima. Primera bi trebalo da bude što više kako bi se mreža u kasnijoj upotrebi ponašala što preciznije. Suština procesa učenja je da on dovodi do korigovanja sinaptičkih težina. Kad ulazni podaci koji se dovode mreži više ne dovode do promena ovih koeficijenata, smatra se da je mreža obučena za rešavanje nekog problema. Obučavanje se može vršiti na nekoliko načina, ali bez

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

obzira na korišćeni algoritam učenja, procesi su u suštini vrlo slični i sastoje se od sledećih koraka:

1. Mreži se prezentuje jedan skup ulaznih podataka.
2. Mreža vrši obradu i rezultat se pamti (ovo je prolaz unapred).
3. Izračunava se vrednost greške, tako što se dobijeni rezultat oduzima od očekivanog.
4. Za svaki čvor se računa nova sinaptička težina (ovo je prolaz unazad).
5. Menjaju se sinaptičke težine ili se ostavljaju stare vrednosti, a nove se pamte.

Na ulaze mreže se dovodi novi skup ulaznih podataka i ponavljaju se koraci od 1-5. Kada se izvrše svi primeri, ažuriraju se vrednosti sinaptičkih težina i ako je greška ispod zahtevane vrednosti smatra se da je mreža obučena.

Procesni elementi nervnog sistema su daleko sporiji u poređenju sa komponentama konvencionalnih računara. No, bez obzira na to, čovek je u stanju da reši neke kompleksne probleme, recimo interpretaciju vizuelne scene za manje od sekunde, što sa računarima nije slučaj. Procenjuje se da je nervni sistem čoveka u ovakvim poslovima efikasniji od računara oko 10^8 puta [86].

Pred kraj osamdesetih godina veštačke neuronske mreže su počele da se primenjuju u industriji. Danas, veštačke neuronske mreže nalaze široku primenu ne samo u industriji već i u svakodnevnom životu [87].

Da bi se odabrala najbolja konfiguracija neuronske mreže treba uzeti u obzir nekoliko faktora. Glavno polje interesovanja koje se tiče odabira topologije VNM povezano je sa dizajnom mreže, obukom i proverom mreže u praksi. Provera mreže u praksi tiče se preciznosti mreže, postojanosti mreže i problema koji se mogu javiti prilikom korišćenja mreže u stvarnom okruženju. Smatra se da su aplikacije veštačkih neuronskih mreža dobre kada sveukupna preciznost prelazi 95% [88].

U jednoj studiji dati su približni procenti korišćenja pojedinih neuronskih mreža u industriji: Višeslojni perceptron 81,2%; Hopfield 5,4%; Kohonen 8,3% i ostale 5,1% [89]. Dakle, višeslojni perceptron je mreža koja se najviše koristi u praksi. Poznate su razne primene višeslojnog perceptron-a. Neki primeri primene su kontrola brzine DC motora, dijagnostika kvara i kontrola kod indukcionog motora. Poznata je primena kod održavanja i otkrivanja kvara senzora protivstrujne sklopke u nuklearnim elektranama i praćenje vibracija kotrljajućih elemenata ležajeva. Ima široku primenu u kontroli povratnih informacija i dijagnostici kvara robotskih sistema.

U sledećim radovima [90, 91] predstavljena je primena neuronskih mreža za proračun sile rezanja, obrtnog momenta kao i monitoring praćenja habanja alata pri bušenju. Takođe ove principi stvaranja neuronskih mreža mogu se primeniti i na druge procese obrade materijala rezanjem, kao što je glodanje. Ove strukture mreže koriste varijable procesa kao što su geometrija alata i režimi procesa obrade [92, 93].

Lin i Ting [94, 95] su se bavili metodologijom pravljenja strukture neuronske mreže stavljajući akcenat na tip funkcije u samoj mreži kao i broj skrivenih slojeva u samoj mreži. Oni su koristili back-propagation neuronsku mrežu. Zapazili su da je za neuronsku mrežu sa dva skrivena sloja sa istim brojem čvorova postignuta brža konvergencija nego sa mrežom koja ima jedan skriveni sloj. Zapazili su takođe da je sa većom brzinom rezanja greška redukovana.

U radu [96] demonstriran je potencijal neuronskih mreža za optimizaciju parametara procesa obrade. Operacija struganja je definisana kao više-kriterijumski problem optimizacije sa tri konfliktna kriterijuma (produktivnost, troškovi operacije i kvalitet procesa). Pomenuti kriterijumi su predstavljeni kao funkcija brzine rezanja, pomaka i dubine rezanja. Modifikovani

neuronski algoritam je korišćen za optimizaciju parametara struganja i eksperimentalni rezultati su dati kao dokaz. Dakle, neuronske mreže se smatraju veoma moćnim alatom u rešavanju problema višekriterijumske optimizacije parametara režima rezanja. Ovaj prilaz bi trebao biti korišćen za brzu determinaciju optimalnih uslova rezanja, pogotovo kada se nema dovoljno vremena za dublju analizu.

U radu [97] je prikazana primena neuronskih mreža za adaptivno upravljanje procesom vretenastog glodanja. VNM se koriste za on-line određivanje optimalnih parametara glodanja, konkretno pomaka po zubu, na osnovu vrednosti izmerenih sila rezanja pri procesu vretenastog glodanja.

2.6.2. Fazi logika

Fazi logika (FL) predstavlja generalizaciju klasične Bulove (Boolean) logike, a na njoj i teoriji fazi skupova zasnovani fazi sistemi mogu se posmatrati kao generalizacija konvencionalnih ekspertskih sistema baziranih na pravilima. Fazi sistemi manifestuju i simboličke i numeričke odlike.

Takođe može se reći da fazi logika i fazi sistemi zaključivanja predstavljaju efikasnu tehniku za identifikaciju i kontrolu složenih nelinearnih sistema. Fazi logika se takođe koristi za predviđanje. Teorija fazi logike, koju je inicirao Zadeh [98], prvenstveno je bila korisna za rad sa neizvesnim i nejasnim informacijama. Fazi logika je posebno atraktivna zbog svoje sposobnosti da se reše problemi u odsustvu preciznih matematičkih modela. Ova teorija se pokazala kao efikasno sredstvo za suočavanje sa ciljevima koji su jezički navedeni u lingvističkom smislu, kao što su "mali", "srednji" i "visoki", koji mogu biti definisani kao fazi skupovi [99].

Prednosti koje nudi fazi logika [100]:

- Fazi logika je konceptualno jednostavna za razumevanje, matematički koncept fazi rezonovanja je veoma jednostavan. Svaki sistem baziran na fazi logici je fleksibilan, što znači da se sistem može jednostavno korigovati, bez potrebe vraćanja na početnu tačku;
- Fazi logika toleriše neprecizne podatke, sve je neprecizno ako se posmatra površno. Uprkos pažljivom proučavanju većina stvari su neprecizne, nedefinisane, rasplintute. Fazi rezonovanje toleriše i ugrađuje takvo razumevanje u sam proces;
- Fazi logika može da opiše iskustvo eksperta, što neuronske mreže ne mogu. Fazi logika nam daje mogućnost da se oslonimo na iskustvo ljudi koji dobro poznaju i razumeju svoj sistem. U fazi sistemima predstavljanje znanja je potpuno otvoreno i jasno;
- Fazi logika je bazirana na prirodnom jeziku. Osnova fazi logike je osnova ljudske komunikacije, a to je prirodni jezik koji koriste obični ljudi.

Fazi Modeliranje - Fazi sistemi zaključivanja

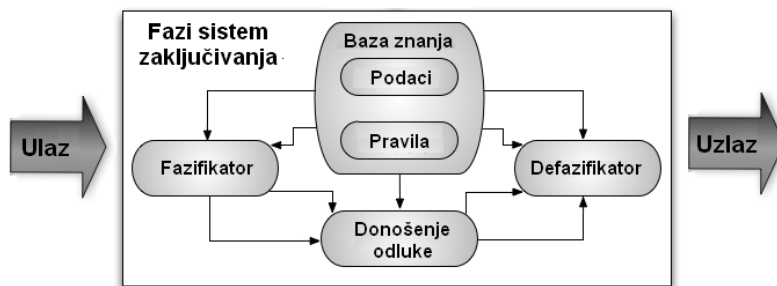
Fazi sistem zaključivanja (eng. *Fuzzy Inference System* - FIS) uključuje funkcije pripadnosti, operatore fazi logike i ako-onda pravila. Osnovna struktura FIS sastoji od tri komponente: baze pravila koja sadrži izbor fazi pravila, baze podataka koja definiše funkciju pripadnosti koja se koriste u fazi pravilima i mehanizme zaključivanja na osnovu kojih se dobija zaključak po definisanim pravilima. Parametri ako-onda pravila definišu fazi region ulaznog prostora, a izlazni parametri određuju odgovarajući region izlaznog prostora.

Fazi sistemi zaključivanja se u literaturi mogu pronaći i pod drugim nazivima zavisno od načina primene: kao sistemi bazirani na fazi pravilima, fazi modeli, fazi asocijativne memorije

(FAM) ili fazi kontroleri (kada se koriste za upravljanje nekog sistema). U osnovi, fazi sistem zaključivanja se sastoji od pet funkcionalnih blokova [101]:

- **baze pravila** (engl. *rule base*) sadrži određeni broj if-then fazi pravila,
- **baze podataka** (engl. *database*) koja definiše funkcije pripadnosti ulaznih/izlaznih varijabli koje se koriste u fazi pravilima,
- **jedinice za donošenje odluka** (engl. *decision-making unit*) koja obavlja operaciju zaključivanja,
- **fazifikatora** (engl. *fuzzification interface*) koji transformiše kisp ulaz u stepen pripadnosti određenoj lingvističkoj vrednosti,
- **defazifikatora** (engl. *defuzzification interface*) koji fazi rezultat zaključivanja transformiše u kisp izlaz.

Vrlo često, baza pravila i baza podataka su označene zajedno kao **baza znanja**. Dijagram fazi sistema zaključivanja prikazan je na slici 2.22.



Slika 2.22. Fazi sistem zaključivanja [102]

Fazi zaključivanje ocenjuje važnost svih činjenica različitim stepenom pripadnosti u intervalu [0 1]. Pri tome se ne koriste pravila pri donošenju zaključaka već **principi**. U procesu fazi zaključivanja određuje se sa kakvim stepenom fazi činjenice utiču na veliki broj neodređenih **principa**. Umesto pravila koja važe pri donošenju zaključaka, kod zaključivanja veštačkom inteligencijom, postoji veći broj mogućih pravila, tj., principa. Uopšteno gledajući, fazi zaključivanje **ne može** da se predstavi **jednom tačnom zavisnošću**.

Pravila samo određuju tj., definišu rezultate. Kada se javi neki neočekivan rezultat, pravilo se napušta ili menja.

Osnovna razlika klasičnog i fazi skupa

Prema klasičnoj teoriji koja počiva na Aristotelovom zakonu isključivanja sredine, objekat ili pripada ili ne pripada posmatranom skupu (princip isključenja trećeg). Fazi skupovi kao potpuno nov pojam, uvedeni su sa osnovnim ciljem da na matematički formalizovan način predstave i modeliraju neodređenosti u lingvistici. Fazi skup je u tom smislu, generalizacija klasičnog skupa, budući da se pripadnost (tj., stepen pripadnosti) elementa fazi skupu može okarakterisati brojem iz intervala. Drugim rečima, funkcija pripadnosti (membership function) fazi skupa preslikava svaki element univerzalnog skupa u pomenuti interval realnih brojeva.

U teoriji klasičnih, jasnih skupova, pripadnost elementa skupu je krajnje distinktna. Klasični skupovi uvek imaju jedinstvenu funkciju pripadnosti, dok se za fazi skup može definisati beskonačno mnogo različitih funkcija pripadnosti kojima se on može opisati. Klasičan skup predstavlja kolekciju različitih objekata. Definisani su tako da deli sve elemente univerzalnog

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

skupa u dve kategorije: svoje članove i one koji to nisu. Svaki klasičan, jasan skup A se može definisati preko tzv., karakteristične funkcije:

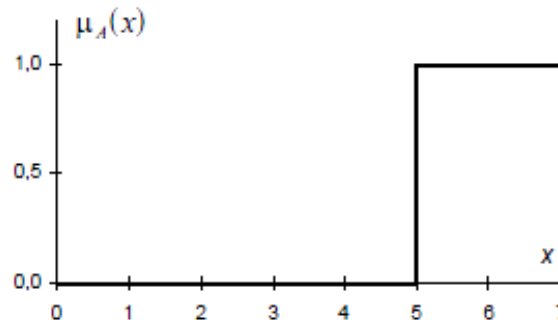
$$\mu_{A(x)} = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2.52)$$

Fazi skup B skupa U može se definisati kao skup uređenih parova:

$$B = \{(x, \mu_B(x)), x \in U\} \quad (2.53)$$

$\mu_B(x)$ - tzv., pripadnost ili karakteristična funkcija skupa B i predstavlja stepen pripadanja elementa x fazi skupu B , tj., $\mu_B : U \rightarrow M$, gde se za M obično usvaja jedinični interval $[0,1]$. Ovo se može objasniti na jednostavnom primeru skupa realnih brojeva, gde je U skup realnih brojeva. Klasičan skup A predstavlja realne brojeve koji su veći ili jednaki broju 5:

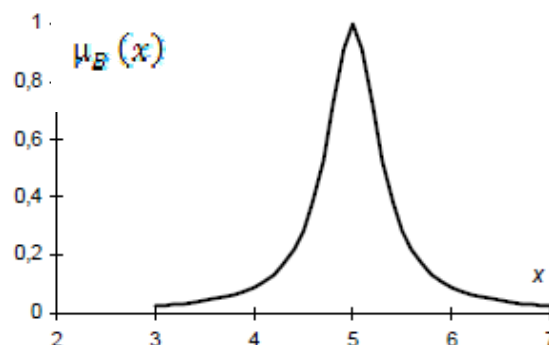
$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in U\}, \mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < 5 \\ 1, & x \geq 5 \end{cases} \quad (2.54)$$



Slika 2.23. Funkcija pripadnosti klasičnog skupa

Ako definišemo fazi skup B kao skup brojeva bliskih broju 5, onda se može napisati:

$$B = \{(x, \mu_B(x)), x \in U\}, \mu_B(x) = \frac{1}{1 + 10(x-5)^2} \quad (2.55)$$



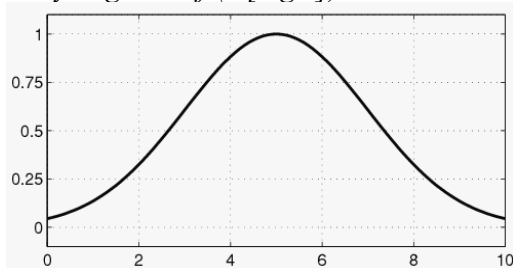
Slika 2.24 Funkcija pripadnosti fazi skupa

Jedini uslov koji mora da zadovolji funkcija pripadnosti je da **varira između 0 i 1**. Sama funkcija pripadnosti može da bude proizvoljna kriva koja nam odgovara u pogledu jednostavnosti, pogodnosti i efikasnosti. Najjednostavnije funkcije pripadnosti mogu biti

formirane pomoću prave linije, a to su f-je pripadnosti u obliku trougla (*trimf*) i trapezna f-ja pripadnosti [100].

Gausova kriva kao f-ja pripadnosti:

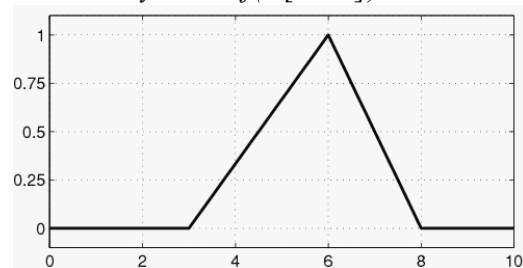
$$y = \text{gaussmf}(x, [\text{sig } c])$$



Slika 2.25. Gausove krive

Trougaona f-ja pripadnosti:

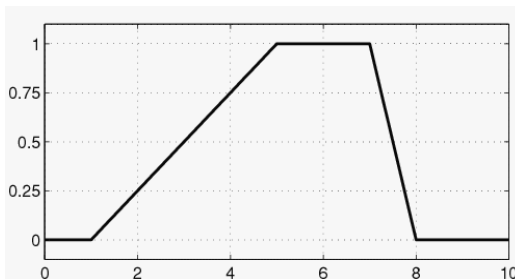
$$y = \text{trimf}(x, [a \ b \ c])$$



Slika 2.26. Trougaona f-ja pripadnosti

Trapezna f-ja pripadnosti :

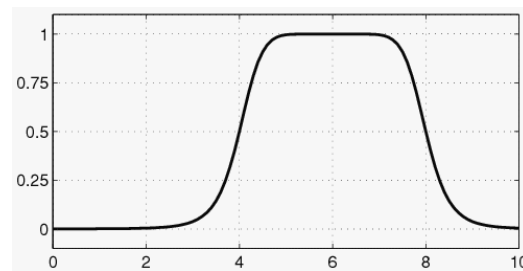
$$y = \text{trapmf}(x, [a \ b \ c \ d])$$



Slika 2.27. Trapezna f-ja pripadnosti

Zvonasta f-ja pripadnosti (gbellmf):

$$y = \text{gbellmf}(x, a \ b \ c)$$



Slika 2.28. Zvonasta f-ja pripadnosti

Gausova funkcija pripadnosti je funkcija koja se najčešće koristi pri modeliranju primenom fazi sistema zaključivanja [102-104]. Ova simetrična Gausova funkcija zavisi od dva parametra σ i C koje je potrebno definisati pri procesu modeliranja.

Postoje tri vrste sistema fazi zaključivanja koji se koriste u širokoj upotrebi: Mamdani tip [105], Sugeno tip [106] i Tsukamoto tipa [107]. Ove tri vrste sistema zaključivanja donekle se razlikuju u načinu na koji se određuje izlaz. Mamdani FIS je najviše poznat i koristi se u fazi razvoja modela. Izlaz iz sistema je generalno rezultat defazifikacije, odnosno rezultat fazi skupa mora biti konvertovan u realan broj.

- **Mamdani fazi sistem zaključivanja** je najčešće primenjen postupak fazi metodologije. Mamdanijev metod je prvi primenjen i izgrađen sistem za kontrolu korišćenjem fazi teorije. Predstavljen je 1975 god. u nameri da se reguliše generator pare sa rezervoarom, skupom lingvističkih kontrolnih pravila, koja je definisala grupa eksperata. Mamdanijev napor je baziran na radovima Lofti Zadeha iz 1973. godine o primeni fazi algoritama na kompleksne sisteme i na procese odlučivanja.

- **Sugeno model** podržava ovakav tip izlaznih funkcija pripadnosti tj., podataka i u osnovi je veoma sličan Mamdani modelu fazi zaključivanja. Sličnost oba modela zaključivanja se sastoji u istom pristupu fazifikaciji ulaznih veličina i primeni fazi operatora. Glavna razlika se uočava u tipu izlazne funkcije pripadnosti, koja se u slučaju Sugeno modela, javlja samo kao linearna funkcija ili konstanta.

Mamdanijev tip sistema fazi zaključivanja pretpostavlja da je izlazna veličina procesa zaključivanja fazi skup. Ovakav fazi skup zahteva agregacioni proces u postupku defazifikacije. U mnogim slučajevima je potrebno koristiti jednu vrednost, **singleton**, kao izlazni fazi skup za svako pravilo zaključivanja, a ne distribuirani fazi skup. Ovakvo pojednostavljenje ubrzava računski postupak prilikom defazifikacije i čini zaključivanje efikasnijim. Umesto integracionog postupka dvodimenzionalne izlazne funkcije, koriste se samo težinski faktori pojedinačnih izlaznih tačaka [108].

Koncept fazi rezonovanja za ulaz i jedan izlaz fazi logičke jedinice (**singleton**) odlično je prikazan u radu [102]. U ovom eksperimentu za ulazne promenljive smatrane su brzina rezanja, pomak po zubu, dubina reznja i pojas habanja. Izlazna promenljiva je hrapavost obrađene površine (R_a). Fazi pravilo baze sastoji se od grupe ako-onda sa izjavama za ulaze, k_1 (brzina rezanja), k_2 (pomak), k_3 (dubina reznja) i k_4 (pojas habanja alata) i sa jedanim izlazom, tj. vrednošću površinske hrapavosti obrađene površine. Fazi i regresioni model je razvijen u odnosu na ove parametre rezanja.

Sličnu problematiku su opisali i autori u radu [104] gde su kao ulazni parametri takođe uzeti brzina rezanja, pomak po zubu, dubina reznja i pojas habanja, ali ovog puta kao izlazne promenljive su uzeti postojanost alata i temperatura pri rezanju. Osnovni korak u fazi logici je izbor odgovarajućih oblika funkcije i njenih koeficijenata, koja se kao takva koristi za razvoj algoritma kako bi se izabrali parametri obrade. Koeficijenti uz glavne članove u funkciji su grafički prikazane veličine učešća svih parametara. Ovi težinski koeficijenti sa svakim ulaznim podatkom, koji se obrađuje, definišu funkcionalna preklapanja između ulaza i konačno određuju snagu izlaza [109].

Konačno, defazifikacioni postupak se koristi da pretvori fazi izlazne veličine u realan broj. Defazifikacija se vrši pomoću Centroid defazifikacione metode. Ona proizvodi centralno područje sa mogućnošću distribucije zaključaka na izlazu. To je takođe jedan od najčešćih metoda koji se koristi za izračunavanje defazifikacije izabranog tipa funkcije [110-111].

U zavisnosti od sistema, moguće je izvršiti procene za sve moguće kombinacije za unos pravila, jer neke kombinacije mogu da se retko ili skoro nikada ne pojavljuju. Operateri koji vrše kreiranje pravila za unos, kada naiđu na ovakve procese gde je potrebno pojednostaviti logičku obradu to čine formiranjem jednog zasebnog skupa pravila, koji se sačinjen od pravila koje se retko pojavljuju. Samim tim se i vrši poboljšanje performansi sistema fazi logike [112].

Potrebno je naglasiti da fazi logika nije svemoguća. Prema rečima L. Zadeha, fazi logika je pogodan način da se ulazni prostor mapira odnosno, preslika u izlazni. Ako se primeti da fazi logika nije pogodan način, treba pokušati nešto drugo ako već postoji jednostavnije rešenje. Fazi logika pripada *Soft Computing* sistemima u kojima je glavni cilj eksploatacija tolerancije koja postoji pri nepreciznosti, nejasnoći i parcijalnoj istinitosti u svrhu postizanja jeftinijih rešenja [113]. "Što se bliže posmatra realan problem njegovo rešenje postaje sve više fazi", Lofti Zadeh [114].

Analizirajući složene sisteme, profesor L. Zadeh sa Univerziteta u Berkliju, je došao do zaključka da kada se kompleksnost sistema povećava, naša mogućnost da napravimo precizno, a u isto vreme i značajno tvrđenje o njegovom ponašanju se smanjuje, dok se ne dostigne prag posle čega preciznost i značaj postaju gotovo isključive osobine. Zbog toga je predložio da se sa veoma složenim problemima treba izboriti tako što umesto ka rigoroznosti i sve većoj preciznosti opisa i razmišljanja o pojavama, treba krenuti upravo u suprotnom pravcu i dozvoliti da oni budu neprecizni.

Primena sistema fazi logike na rešavanje problema u okviru procesa obrade rezanjem je veoma zastupljena i to se vidi kroz pregled narednih radova. Rajasekaran i dr. [115] su istraživali

uticaj kombinacije parametara obrade kako bi se dobio dobar kvalitet pri završnoj obradi pri struganju i da se predvidi vrednost hrapavosti obrađene površine koristeći fazi modeliranje. Autori u literaturi [116, 117] koriste adaptivni pristup zasnovan na mreži fazi logičkog sistema (ANFIS), postavljenog da da zavisnost hrapavosti obrađene površine pri procesu obrade struganjem, odnosno glodanjem. Balić i Korošec [118] su predviđali srednju aritmetičku hrapavost (R_a), korišćenjem veštačke neuronske mreže. Površinska hrapavost i završna obrada su razmatrani u radovima [119-121]. Fazi logika u radovima je prepoznatljiv sistem i razvijen je i korišćen naširoko [122].

Modeliranje površinske hrapavosti pri čeonom glodanju smatra se složenim procesom. Shodno tome, autori u radu [102] si izvršili upređan prikaz vrednosti hrapavosti obrađene površine dobijene eksperimentalnim putem i dobijene uz pomoć modela reliazovanog na principu fazi logike. Pored ovog modela prikazan je model dobijen uz pomoć regresione anaize. Rezultati u vidu procentualnog odstupanja od eksperimentalnih vrednosti su pokazali da se model fazi logike može efikasno koristiti za predviđanje hrapavost obrađene površine. Srednja ukupna greška rezultata dobijenih uz pomoć modela fazi logike je u ovoj analizi bila manja u odnosu na model dobijen regresionom analizom, što potkrepljuje primenu ovog sistema.

2.7. Optimizacija parametara procesa obrade primenom Tagučić metode

Interes korisnika usluga inženjera je profesionalno i racionalno povezivanje znanja, veština i poslovne umetnosti kako bi se dobio kvalitetan i sa aspekta troškova prihvatljiv (konkurentan) proizvod na tržištu roba i usluga. Spomenuta aktivnost zahteva od inženjera visok nivo stručnog znanja, poznavanje i sposobnost vođenja posla, umeće pravovremenog uključivanja odgovarajućih stručnjaka - specijalista, te uspostavljanje "timova" zaduženih za praćenje kvaliteta i troškova.

Pružanjem intelektualnih usluga inženjer plasira na tržište najskuplju robu - pamet. U želji da proizvodni sistemi budu što efikasniji, ali i kvalitetniji, svaki proizvođač nastoji pronaći odgovarajući pristup koji će mu obezbediti opstanak i zaradu. Veoma brz razvoj tehnike i tehnologije i ubrzani protok informacija uticao je na primenu novih znanja i novih tehnika i tehnologija u razvoju i primeni "just in time" sistema.

U današnjim ekonomskim sistemima širom sveta koriste se različite proizvodne metode i pristupi kvalitetu - zavisno o tome šta proizvođač želi postići, koliko je upoznat sa raspoloživim mogućnostima, te primenjivosti određene metode na određeni proizvodni sistem. Jedan od mogućih pristupa kvalitetu je korišćenje Tagučić metode, koja ima najrašireniju praktičnu upotrebu.

Najveći doprinos ove metode se vidi na polju planiranja eksperimenta. Tagučić je razvio ideju da proizvodi i procesi mogu biti tako oblikovani da su što manje pod uticajem okoline. Takav pristup se naziva robusnim planom (dizajnom). Tagučić metod je baziran na konceptu delimičnog faktornog plana eksperimenta (Fractional Factorial Experimental Design).

Glavni cilj Tagučićevog plana eksperimenta je da se:

- ♦ Minimiziraju varijacije procesa ili proizvoda,
- ♦ Dizajnira robusan i fleksibilan proces ili proizvod koji je prilagodljiv uslovima životne sredine.

Osnovni koncept i definicije

Tagučić je razvio celokupnu filozofiju i udružene metode za inženjerstvo kvaliteta, a jedna od njegovih najvažnijih ideja zasniva se na tome da je [123, 124]:

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

"Kvalitetan proizvod onaj koji izaziva najmanje troškove, izražene novcem, prema društvu tokom celog svog životnog veka".

Odnos između gubitka i tehničkih osobina proizvoda izražava se funkcijom gubitka. Kvalitet mora biti ugrađen u proizvod i procese proizvodnje, te u proizvodnom procesu treba posvetiti više pažnje "off-line" kontroli, kako bi se uklonili problemi koji se javljaju u proizvodnji.

Različiti tipovi uslova odnosno promena (npr. tolerantne varijacije, spoljni uslovi, "rasipanje" susednih sistema itd.) uzrokuju različite devijacije na sistemu umanjujući njegov optimalan rad. Kako bi se izbegao porast takvih promena, potrebno je razviti robusne proizvode koji funkcionišu optimalno i u različitim promenljivim uslovima.

Pronalaženje dizajnerskih parametara koji povećavaju robusnost temelj je Tagučij metode. Robusni dizajn nije direktno usmeren na rešavanje problema već kreiranje sistema, koji funkcioniše približno idealnoj funkciji u svim uslovima.

Iz prethodno navedenog proizlazi definicija - Tagučij metode su sistem inženjerskog kvaliteta okrenut ka smanjivanju troškova. Ova metoda daje naglasak na efikasnu primenu inženjerskih strategija pre nego na primenu naprednih statističkih metoda.

Funkcija gubitka kvaliteta

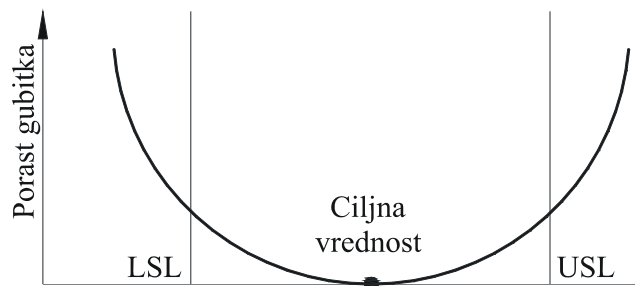
Funkciju gubitka kvaliteta povezuje odstupanje karakteristika proizvoda od ciljne vrednosti, koja umanjuje cenu koju potrošač plaća kao konačni korisnik. Ako je sa L označen gubitak u novčanim jedinicama, sa K poznati koeficijent koji zavisi od proizvoda, sa Y postignuti kvalitet, a T je ciljna vrednost kvaliteta za odabranu karakteristiku onda se dobija kvadratna funkcija [125].

$$L = K(Y - T)^2 \quad (2.56)$$

Ukupni gubitak kvaliteta proizvoda je zbir ukupnih gubitaka i štete po životnu sredinu. Ova šteta nastaje tokom njegovog životnog ciklusa. Funkcija gubitka se može predstaviti kao:

$$\begin{aligned} &+ \text{Troškovi zbog funkcionalnih odstupanja} \\ &+ \text{Operativni troškovi} \\ &+ \text{Troškovi usled ekoloških efekata} \\ \hline &= \text{Gubitak kvaliteta} \end{aligned}$$

Na grafičkom prikazu na slici 2.29. LSL (lower loss limit) predstavlja donju granicu gubitka, a USL (upper loss limit) gornju granicu gubitka. Za karakteristiku se može uzeti bilo koja osobina proizvoda.



Slika 2.29. Granice gubitka [126]

Ciljna vrednost

Da bi se odredilo odstupanje kvaliteta proizvoda mora se prvo odrediti ciljna vrednost. Ta vrednost predstavlja idealnu vrednost sa aspekta potrošača. Postoje tri načina posmatranja [125]:

- Cilj je definisan kao normalna vrednost, gubitak se povećava što vrednost više odstupa od ciljne vrednosti,
- Ciljna vrednost je bolja što je veća, gubitak se povećava što je vrednost bliža nuli,
- Ciljna vrednost je bolja što je manja, gubitak se povećava sa povećanjem vrednosti.

Signal-to-noise odnos

Odnos S/N (eng. *Signal to Noise*) predstavlja ključnu meru za analizu eksperimentalnih rezultata. S/N (Signal-to-Noise) je u stvari uticaj šuma na ciljnu funkciju procesa. Šum se može shvatiti kao uticaj nekontrolisanih parametara na procesa. S/N predstavlja univerzalnu meru za ocenu eksperimentalnih rezultata. Na osnovu ovog odnosa se može proceniti uticaj promene određenog parametra procesa na performanse proces. Metoda za merenje, odnosno jedinica kojom se izražavaju rezultati može se prema Tagučijevoj metodi podeliti na tri različite grupe i to prema karakteristici kvaliteta:

- "Nominal is the best" - definisana fiksna vrednost je najbolja

$$\frac{S}{N} = 10 \log \frac{\bar{y}}{s_y^2}, \quad (2.57)$$

- "Smaller is better" - što manja vrednost to bolja

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right), \quad (2.58)$$

- "Bigger is better" - što veća vrednost to bolja

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right). \quad (2.59)$$

Gde su:

- $\frac{S}{N}$ - odnos signal-šum,
- n - broj ponavljanja eksperimenata,
- y_i - izmerena vrednost karakteristike kvaliteta,
- \bar{y} - srednja vrednost izmerenih karakteristika kvaliteta,
- s_y^2 - disperzija od y .

Za svaki, prethodno definisani, tip karakteristike kvaliteta važi da veći odnos S/N daje bolji rezultat. Tačnost ove statističke tehnike zavisi od biranog uzorka odziva. Uzorak odziva mora biti dovoljno veliki da reprezentuje čitav opseg mogućih izlaza, ali ne sme biti toliko velik da izvođenje eksperimenta postane suviše dugotrajno i nepraktično.

Ortogonalno planiranje eksperimenata

Cilj robusnog dizajna je da se smanji potencijalna zavisnost procesa, tj. da se omogući takva stabilnost (robustnost) procesa na koji će imati ograničeni uticaj promene nastale u procesu oblikovanja i proizvodnje, a sve u cilju smanjenja mogućih gubitaka do kojih mogu dovesti neželjene promene ili odstupanja parametara od unapred definisanih vrednosti.

U tom cilju je izgrađen potpuno novi sistem planiranja eksperimenata, ortogonalni nizovi (eng. Orthogonal Array) i doraden je postupak statističke obrade podatka. Ortogonalni nizovi omogućavaju projektantima da proučavaju mnogo parametara procesa istovremeno i mogu biti korišćeni za procenu uticaja svakog parametra nezavisno. Zbog toga se informacije o parametrima procesa mogu dobiti sa minimalnim vremenom i resursima.

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Minimalan broj nivoa potrebnih za poređenje uticaja pojedinih parametara je dva. Primenom Tagučići tehnike smanjuje se broj izvođenja eksperimenata, u odnosu na potpuni faktorni plan eksperimenta. Npr. ako se tri faktora A, B i C analiziraju na dva nivoa, potpuni plan eksperimenta zahteva izvođenje 8 eksperimenata ($2^3 = 8$), prikazano u tabeli 2.3.

Tabela 2.3. Broj eksperimenata na osnovu potpunog plana eksperimenta za slučaj variranja 3 faktora na dva nivoa

| Broj eksperimenata | A | B | C |
|--------------------|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 2 |
| 3 | 1 | 2 | 1 |
| 4 | 1 | 2 | 2 |
| 5 | 2 | 1 | 1 |
| 6 | 2 | 1 | 2 |
| 7 | 2 | 2 | 1 |
| 8 | 2 | 2 | 2 |

Nasuprot ovome Tagučići metod za isti broj faktora 3 (A, B, C), koji se variraju na 2 nivoa, zahteva samo 4 eksperimenta, tabela 2.4. Takav eksperiment će biti izveden pomoću $L_4(2^3)$ niza koji je najmanji od mnogih nizova koje razvio Tagučići. Tagučićijev ortogonalni niz bira 4 izlaza od mogućih 8 kombinacija (potpuni faktorni plan).

Vrednost „1“ u tabeli podrazumeva minimalnu vrednost, a vrednost „2“ maksimalnu vrednost posmatranog faktora u određenom izvođenju eksperimenta.

Jedna od prednosti je i mogućnost usvajanja ekonomičnog sekvencijalnog pristupa izvođenju eksperimenta, kao i predviđanje vrednosti izlaznih karakteristika u određenoj oblasti na površini odziva/izlaza, za postavljene set ulaznih kontrolnih parametara.

Tabela 2.4. Broj eksperimenata prema Tagučići metodi za 3 faktora na 2 nivoa - $L_4(2^3)$

| Broj eksperimenata | A | B | C | Izlaz |
|--------------------|---|---|---|-------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | Y_1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | Y_2 |
| 3 | 2 | 1 | 2 | Y_3 |
| 4 | 2 | 2 | 1 | Y_4 |

Sledeći primer je tabela ortogonalne matrice $L_9(3^4)$ koja uključuje do 4 kontrolna faktora sa 3 nivoa. U tabeli 2.5. kodom „3“ označen je gornji nivo (maksimalna vrednost) koji faktor uzima u eksperimentu, sa „1“ označen je donji nivo (minimalna vrednost) faktora u eksperimentu, a kod „2“ predstavlja srednju vrednost faktora u eksperimentu.

Tabela 2.5. Ortogonalna matrica $L_9(3^4)$

| Broj eksperimenta | A | B | C | D | Izlaz |
|-------------------|---|---|---|---|-------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Y_1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | Y_2 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | Y_3 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | Y_4 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | Y_5 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | Y_6 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | Y_7 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | Y_8 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | Y_9 |

Prikazana matrica faktornog plana eksperimenta zadovoljava sledeće uslove:

- ♦ Ortogonalnost - proizvod bilo koje dve kolone jednak je nuli (Ako se pogledaju ortogonalni nizove kod $L_4(2^3)$ uočava se da u koloni 1 postoje dve „1“ i dve „2“. Između kolona 1 i 2 ima po jedna od kombinacija 11, 12, 21 i 22),
- ♦ Simetričnost - zbir bilo koje dve kolone jednak je nuli,
- ♦ Normiranost - zbir kvadrata elemenata kolone jednak je broju eksperimenata (bez ponavljanja),
- ♦ Prvi red ima sve 1-ce,
- ♦ Ne postoji red koji ima sve 2-ke.

Uravnoteženost kolona garantuje da će analiza i zaključak u vezi svakog faktora biti nezavisan i bez korelacija sa drugim faktorima. Bilo koje dve kolone međusobno su ortogonalne, što daje uravnoteženost tabeli. U redovima su predstavljeni nivoi faktora koji se koriste za određeno izvođenje eksperimenta. Za svaki eksperiment meri se izlaz, a moguće je meriti i više izlaza za jedno izvođenje, što je efikasnije nego izvoditi posebne eksperimente za svaki izlaz.

Oznake nizova pokazuju veličinu tabele i osobinu kolone i sastoje se od simbola:

$$L_n(X^Z) \quad (2.59)$$

Gde su: n - broj eksperimenata, X - broj nivoa, Z - broj faktora (broj kolona).

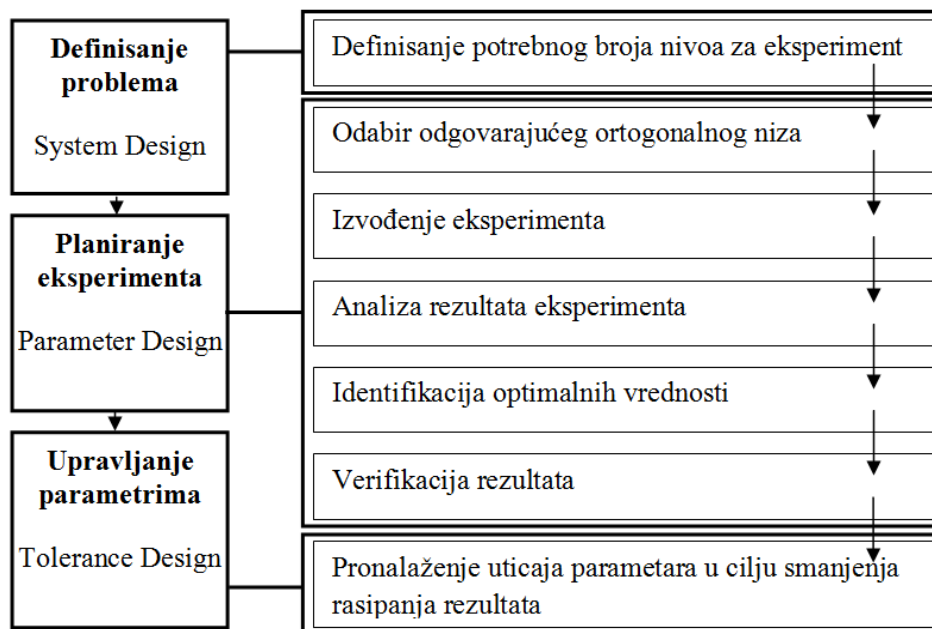
Neki od poznatih Tagučići nizova su: $L_4(2^3)$, $L_8(2^7)$, $L_9(3^4)$, $L_{12}(2^{11})$, $L_{27}(3^{13})$.

Jedna od glavnih prednosti Tagučići metoda je što zahteva minimalni broj eksperimenata u cilju smanjenja varijacija. Tagučići pristup projektovanju eksperimenta pojednostavljuje i smanjuje broj izvođenja eksperimenta. Ovo je posebno važno za veći broj upravljačkih faktora i njihovih nivoa. U tabeli 2.8. dat je prikaz potrebnog broja eksperimenata prema DoE (eng. *Design of Experiments*) metodi kao i prema Tagučići metodi.

Iz table 2.6. se najbolje vidi prednost koju Tagučićijev metod ima u odnosu na DoE u pogledu broja eksperimenata. Pri planiranju eksperimenta po Tagučićijevoj metodi treba se pridržavati procedure prikazane na slici 2.30.

Tabela 2.6. Usporedni prikaz potrebnog broja eksperimenata na osnovu DoE i Taguči metode

| Broj kontrolnih faktora sa dva nivoa | Broj izvođenja eksperimenata | |
|--------------------------------------|------------------------------|--------------|
| | Puni faktorni plan | Taguči metod |
| 3 | 8 | 4 |
| 7 | 128 | 8 |
| 15 | 32768 | 16 |
| Broj kontrolnih faktora sa tri nivoa | Broj izvođenja eksperimenata | |
| | Puni faktorni plan | Taguči metod |
| 4 | 81 | 9 |
| 13 | 1594323 | 27 |



Slika 2.30. Koraci planiranja Taguči eksperimenata [126]

Nakon projektovanja i izvođenja eksperimenata, kao i merenja izlaza, sledi analiza dobijenih rezultata. Rezultat analize je niz koeficijenata koji određuju relacije između faktora eksperimenata i izlaza. Izlazi su merene karakteristike kvaliteta. Analiza i sumiranje rezultata se uobičajno radi preko ANOVA tabela.

2.7.1. Primer optimizacije podataka pomoću ANOVA analize

Postupak optimizacije podataka

Nakon projektovanja i izvođenja eksperimenata, kao i merenja izlaza, sledi analiza dobijenih rezultata. Rezultat analize je niz koeficijenata koji određuju relacije između faktora eksperimenata i izlaza (merenih karakteristika kvaliteta). Uobičajni način analize i sumiranja rezultata je preko ANOVA (analiza varijacija) tabele. Na primeru eksperimenata $L_9(3^4)$ koji je

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

ranije prikazan u tabeli 2.5., gde se varira 4 faktora na 3 nivoa, biće prikazani koraci za eliminaciju faktora koji nisu značajni i proračun uticaja značajnih faktora. U primeru koji se prikazuje za izabrane faktore su odabrani parametri režima rezanja:

- v - brzina rezanja, izražena u [m/s], označena kao faktor A,
- s_1 - pomak po zubu, izražen u [mm/o], označen kao faktor B,
- a - dubina rezanja, izražena u [mm], označena kao faktor C,
- Greška eksperimenta označena je sa D.

Zbog kvalitetnije analize potrebno je imati više podataka merenja jednog te istog eksperimenta, a u ovom primeru su prikazana za 3 ponovljena eksperimenta (Y_{i1} , Y_{i2} , Y_{i3}). Pri daljoj ANOVA analizi koristi se samo srednja vrednost ova tri ponovljena eksperimenta

($Y_i = \frac{Y_{i1} + Y_{i2} + Y_{i3}}{3}$, gde $i=1,2,.., 9$). Na osnovu napred navedenog modifikovana tabela 2.5 u ovom primeru je data u tabeli 2.7.

Tabela 2.7. Ortogonalna matrica za $L_9(3^4)$ plan eksperimenta

| Redni broj merenja | Plan eksperimenta | | | | Izmerene vrednost | | | Srednja izmerene vrednost | S/N odnos |
|--------------------|-------------------|---|---|---|-------------------|----------|----------|---------------------------|-----------|
| | A | B | C | D | Y_{i1} | Y_{i2} | Y_{i3} | Y_i | S/N_i |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | Y_{11} | Y_{12} | Y_{13} | Y_1 | S/N_1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | Y_{21} | Y_{22} | Y_{23} | Y_2 | S/N_2 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | Y_{31} | Y_{32} | Y_{33} | Y_3 | S/N_3 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | Y_{41} | Y_{42} | Y_{43} | Y_4 | S/N_4 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | Y_{51} | Y_{52} | Y_{53} | Y_5 | S/N_5 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 0 | Y_{61} | Y_{62} | Y_{63} | Y_6 | S/N_6 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0 | Y_{71} | Y_{72} | Y_{73} | Y_7 | S/N_7 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0 | Y_{81} | Y_{82} | Y_{83} | Y_8 | S/N_8 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 0 | Y_{91} | Y_{92} | Y_{93} | Y_9 | S/N_9 |

Faktor D odnosno greška eksperimenta je kolona bez prikazanih varijacija nivoa faktora, shodno tome pri analizi rezultata ova kolona ne mora da se prikazuje. U sklopu tabele 2.7. može da se prikaže i S/N odnos za date ekperimente, izračunat po ranije definisanoj jednačini 2.58.

U nastavku su prikazani koraci za eliminaciju faktora koji nisu značajni i proračun uticaja značajnih faktora.

Korak 1. Zbirna tabela

Zbirna tabela je data u tabeli 2.8. Ona sadrži zbir izlaza za svaki nivo pojedinog faktora. Zbir se računa tako što se, gledajući u ortogonalnu matricu, traže eksperimenti sa određenim nivoom za pojedini faktor i onda se sabiraju tako izabrani izlazi. Naprimer, za faktor B, nivo 1 je u eksperimentima 1, 4 i 7, tako da će se sabirati ti izlazi. Srednja vrednost izlaza predstavlja zbir podeljen sa brojem izabranih eksperimenata (u ovom slučaju to je 3).

Tabela 2.8. Zbirna tabela

| Faktori | Nivoi | Zbir | Srednja vrednost |
|---------|-------|----------------------------|-----------------------|
| A | 1 | $Y_{A1} = Y_1 + Y_2 + Y_3$ | $y_{A1} = Y_{A1} / 3$ |
| | 2 | $Y_{A2} = Y_4 + Y_5 + Y_6$ | $y_{A2} = Y_{A2} / 3$ |
| | 3 | $Y_{A3} = Y_7 + Y_8 + Y_9$ | $y_{A3} = Y_{A3} / 3$ |
| B | 1 | $Y_{B1} = Y_1 + Y_4 + Y_7$ | $y_{B1} = Y_{B1} / 3$ |
| | 2 | $Y_{B2} = Y_2 + Y_5 + Y_8$ | $y_{B2} = Y_{B2} / 3$ |
| | 3 | $Y_{B3} = Y_3 + Y_6 + Y_9$ | $y_{B3} = Y_{B3} / 3$ |
| C | 1 | $Y_{C1} = Y_1 + Y_6 + Y_8$ | $y_{C1} = Y_{C1} / 3$ |
| | 2 | $Y_{C2} = Y_2 + Y_4 + Y_9$ | $y_{C2} = Y_{C2} / 3$ |
| | 3 | $Y_{C3} = Y_3 + Y_5 + Y_7$ | $y_{C3} = Y_{C3} / 3$ |

Korak 2. Suma kvadrata

Računa se ukupna suma kvadrata izlaza i suma kvadrata po faktorima kao i sume kvadrata greške, po sledećim formulama:

Ukupna suma kvadrata:

$$S_T = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 / n \right) \quad (2.60.)$$

gde su: n- broj izvođenja eksperimenta (ovde je n=9), Y_i - izlaz iz i-tog izvođenja eksperimenta, $i=1,2,\dots,n$

Suma kvadrata po faktorima:

$$S_p = \sum_{j=1}^t \frac{(\sum Y_{pj})^2}{t} - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 \quad (2.61.)$$

Gde su: p- neki od faktora (A, B, C), t- ponavljanje svakog nivoa faktora (u ovom slučaju je to 3), $\sum Y_{pj}$ - suma eksperimentalnih rezultata faktora p na j- tom nivou. $j=1,2,3$.

$$S_A = \sum_{j=1}^3 \frac{(\sum Y_{Aj})^2}{3} - \frac{1}{9} \left(\sum_{i=1}^9 Y_i \right)^2 \quad (2.62.)$$

$$S_B = \sum_{j=1}^3 \frac{(\sum Y_{Bj})^2}{3} - \frac{1}{9} \left(\sum_{i=1}^9 Y_i \right)^2 \quad (2.63.)$$

$$S_C = \sum_{j=1}^3 \frac{(\sum Y_{Cj})^2}{3} - \frac{1}{9} \left(\sum_{i=1}^9 Y_i \right)^2 \quad (2.64.)$$

Suma kvadrata za grešku se može izračunati na sledeći način:

$$S_D = S_T - S_A - S_B - S_C \quad (2.65.)$$

Korak 3. Stepni slobode

Stepen slobode se računa za svaki faktor, za grešku i za ukupnu vrednost prema sledećim formulama:

$$DF_T = n - 1 = 9 - 1 = 8 \quad (2.66)$$

$$DF_A = DF_B = DF_C = n_E - 1 = 3 - 1 = 2 \quad (2.67)$$

$$DF_D = DF_T - DF_A - DF_B - DF_C = 8 - 2 - 2 - 2 = 2 \quad (2.68)$$

gde su: n - broj izvođenja eksperimenta $n = 9$, n_E - broj nivoa variranja faktora $n_E = 3$.

Korak 4. Varijacija

Varijacija se računa kao suma kvadrata podeljena sa ukupnim brojem stepeni slobode.

$$V_A = \frac{S_A}{DF_A}, \quad V_B = \frac{S_B}{DF_B}, \quad V_C = \frac{S_C}{DF_C}, \quad V_D = \frac{S_D}{DF_D}. \quad (2.69)$$

Korak 5. Računska vrednost Fišerovog testa

Deljenjem varijacije faktora sa varijacijom greške dobija se mera relativne značajnosti (signifikantnosti) svakog faktora, odnosno računске vrednosti F-testa za faktore. Ove vrednosti se kasnije poredi sa tabelarnim vrednostima F-testa.

$$F_A = \frac{V_A}{V_D}, \quad F_B = \frac{V_B}{V_D}, \quad F_C = \frac{V_C}{V_D}. \quad (2.70)$$

Korak 6. Analiza varijacija - ANOVA

Sa porastom broja faktora, potrebno je otkloniti one koji nisu značajni. Ovim se dobija bolja ocena relativne važnosti svakog signifikantnog faktora. Ovaj proces se naziva okupljanje (engl. pooling). Faktori koji se okupljaju nisu signifikantni. Postoje dva osnovna pravila za okupljanje koja se primenjuju u analizi rezultata eksperimenta projektovanog po Taguchi metodi:

- Ako je vrednost F statistike faktora ≤ 1 , okupljaju se sume kvadrata tih faktora u odnosu na grešku,
- Ako broj takvih faktora nije približno jednak ili manji od polovine broja kolona ortogonalne matrice, treba okupiti faktore sa manjim vrednostima F statistike, sve dok broj takvih faktora ne dostigne polovinu broja kolona matrice.

Tabela 2.9. Početna tabela ANOVA

| Faktori | Naziv | Stepeni slobode | Suma kvadrata | Varijacije | F-Test |
|---------------|----------------|-----------------|---------------|------------|--------|
| | | DF | S | V | F |
| A | Brzina rezanja | DF_A | S_A | V_A | F_A |
| B | Pomak po zubu | DF_B | S_B | V_B | F_B |
| C | Dubina rezanja | DF_C | S_C | V_C | F_C |
| D | Greška | DF_D | S_D | V_D | |
| Ukupno | | $\sum DF$ | $\sum S$ | | |

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Ako je vrednost F statistike faktora ≤ 1 znači da varijansa koja dolazi od tih faktora nije veća od varijanse neuračunate greške, tabela 2.9. Nakon ovog uklanja se faktor koji nije signifikantan, odnosno pridodaje se grešci u sledećoj interaciji. Kao primer pretpostavimo da je faktor $A \leq 1$, tj, nesignifikantan. Proračun okupljanja dat je u sledećim koracima. Sa E će biti označena nova greška koja je nastala okupljanjem ne signifikantnih elemenata oko greške D.

Korak 7. Suma kvadrata za grešku

Ukupna suma kvadrata i suma kvadrata po faktorima se ne menja i uzima se iz koraka 3. Suma kvadrata za grešku se računa kao suma kvadrata za grešku iz koraka 3 i suma kvadrata svih nesignifikantnih faktora.:

$$S_E = S_D + S_A \quad (2.71)$$

Korak 8. Stepeni slobode greške okupljanja

$$DF_E = DF_D + DF_A \quad (2.72)$$

Korak 9. Varijacija okupljanja

Varijacija se računa kao suma kvadrata podeljena sa ukupnim brojem stepeni slobode.

$$V_E = \frac{S_E}{DF_E} \quad (2.73)$$

gde su:

- V_E - varijacija okupljanja,
- S_E - suma kvadrata za grešku okupljanja,
- DF_E - stepen slobode okupljanja,

Korak 10. Računska vrednost Fišerovog testa

F statistika za faktore koji nisu uključeni u okupljanje, mora se ponovo proračunati, koristeći novoproračunatu grešku varijanse:

$$F_B' = \frac{V_B}{V_E}, \quad F_C' = \frac{V_C}{V_E} \quad (2.74)$$

Za te faktore mora se dobiti čista (potpuna) suma kvadrata:

$$S_B' = S_B - (V_E \cdot DF_B) \quad (2.75)$$

$$S_C' = S_C - (V_E \cdot DF_C) \quad (2.76)$$

$$S_E' = S_E + (V_E \cdot (DF_T - DF_E)) \quad (2.77)$$

Suma ovih vrednosti mora biti jednaka početnoj sumi.

$$S_E' + S_B' + S_C' = S_T \quad (2.78)$$

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Procentualno učešće faktora se dobija deljenjem sume kvadrata (novoizračunate) za svaki faktor sa ukupnom sumom kvadrata, tabela 2.10:

$$P_B = \frac{S'_B}{S'_T} \cdot 100\%, \quad P_C = \frac{S'_C}{S'_T} \cdot 100\%, \quad P_E = \frac{S'_E}{S'_T} \cdot 100\% \quad (2.79)$$

Tabela 2.10. Konačna ANOVA tabela

| Faktori | Naziv | Stepeni slobode | Varijacije | F-Test | Suma kvadrata | Procentualno učešće |
|---------------|----------------|-----------------|------------|--------|---------------|---------------------|
| | | DF | V | F' | S' | P% |
| B | Pomak po zubu | DF_B | V_B | F'_B | S'_B | P_B |
| C | Dubina rezanja | DF_C | V_C | F'_C | S'_C | P_C |
| E | Greška | DF_E | V_E | | S'_E | P_E |
| Ukupno | | $\sum D_F$ | | | $\sum S'$ | $\sum P = 100\%$ |

Korak 11. Stepen poverenja

Na osnovu statističkih tabela - F statistika sa 95% ili 99% ($\alpha = 0.5, \alpha = 0.1$) poverenja, uz poznate vrednosti stepeni slobode za određeni faktor (DF_B, DF_C) i za grešku (DF_E) izvodi se konačan zaključak o signifikantnosti faktora. U navedenom primeru, stepeni slobode za signifikantne faktore $DF_B = DF_C$ i za grešku DF_E je izračunat pa iz tabela za F statistiku sa poverenjem 95%, odnosno 99% se mogu očitati vrednosti. Vrednosti se očitavaju tako što se pronade vrednost $F(T, C, R)$.

Ovde su navedeni simboli:

T - tabela iz koje se očitava rednost. Ona može biti tabela za 95% ili 99%,

C - kolona iz koje se očitava vrednost. Ona je jednaka DF_E ,

R - Red iz koga se očitava vrednost. Jednak je stepenu slobode odabranog faktora.

Ako je F statistika za faktor iz konačne ANOVA tabele (DF_B, DF_C), veća od vrednosti F (za poverenje 95% ili 99%), faktor je signifikantan.

Napomena: proračun važi za analizu faktora koji su međusobno nezavisni.

Optimizacija parametara procesa obrade primenom Taguči metode i ANOVA analize je veoma zastupljena u današnjim istraživanjima. Pregledom literaturnih izvora primetna je zastupljenost Taguči metode kod procesa obrade glodanjem. Tako u radu [127] vidimo da se autori bave optimizacijom parametara procesa pri obradi sa laserom a sve minimalizacije vrednosti hrapavosti obrđane površine. Istraživanja u ovom radu su obavljena na leguri aluminijuma oznake 6061. Shodno tome može se konstatovati da je ovo područje i dalje interesantno za istraživanje, odnosno da je optimizacija parametara na novim legurama nije dovoljno istražena. Još jedan rad koji svakako zaslužuje pažnju čitalaca je rad pod brojem [128]

gde autori prmenjuju optimizaciju parametara pri procesu obrade glodanjem materijala obrade AISI 1045. Problematika u ovom radu je usmerena na traženju minimalne pohabanosti alata, a sve u cilju bolje produktivnosti procesa. Dobijeni rezultati optimizacije pokazuju da brzina rezanja ima najveći uticaj na postojanost alata. Shodno tome u narednim istraživanjima svakako brzinu rezanja treba uzeti u obzir kao faktor nad kojim je potrebno izvršiti optimizaciju.

Među autorima čije radove iz područja obrade skidanjem materijala treba svakako spomenuti a koji su dali značajan doprinos u uvođenju novih metoda optimizacije, konkretno Tagučijeve metode su radovi iz grupe [129-131]. Autori u ovim radovima vrše optimizaciju parametara sa ciljem minimalizacije izlaznih karakteristika procesa obrade rezanjem.

Poslednjih godina postoji i sve veće interesovanje da se rezultati dobijeni preko Tagučijevih metoda koriste za obuku veštačkih neuronskih mreža (VNM). Prednosti koje nude VNM su brojne i one se postižu kreiranjem modela VNM visokih performansi. Međutim, određivanje parametara arhitekture i treniranja VNM i dalje je težak zadatak. Obično se ovi parametri određuju postupkom tzv. 'probe i greške' gde se veliki broj modela VNM kreira i međusobno upoređuje. U radu [132] je prikazana primena Tagučijevih metoda za optimizaciju parametara VNM, koja se trenira Levenberg-Markeovim algoritmom. Primena ovog pristupa ilustrovana je na studiji slučaja za modeliranje rezultujućeg otpora rezanja kod struganja. Primenom analize varijanse i srednjih vrednosti identifikovani su optimalni nivoi parametara, koji su poslužili kao ulazne vrednosti za obuku VNM. Zatim je kreiran Tagučijev optimizovan model VNM koji je pokazao visoku tačnost predikcije. Analize i eksperimenti pokazuju da se izbor optimalnih parametara VNM može odrediti na sistematičan način čime se izbegava dugotrajan postupak 'probe i greške'.

Pored Tagučijevih metoda u literaturnim izvorima se svakako mogu naći i drugi vidovi optimizacije, među kojima se naročito ističe optimizacija parametara posredstvom ANOVA analize. Ovaj model optimizacije koji se primenjuje na procese obrade rezanjem svakako ima za cilj da smanji proizvodne troškove i postigne zahtevani kvalitet proizvoda. Shodno tome utvrđivanje optimalnih parametara rezanja je od suštinske važnosti. U radu [133] je korišćena Tagučijeva metoda za minimizovanje hrapavosti površine poliamida PA-6 pri obradi struganjem. Analiziran je uticaj četiri parametra rezanja: brzine rezanja, pomaka, dubine rezanja i radijusa vrha noža i njihov uticaj na vrednost srednje aritmetičke hrapavosti (R_a), na osnovu standardnih L_{27} Tagučijevih ortogonalnih redova. Na osnovu ANOVA analize određeni su optimalni parametri rezanja, kao i nivo njihove značajnosti. Pored regresione analize K. Palanikumar [134] koristi i ANOVA analizu varijanse za određivanje optimalnih parametara procesa a sve u cilju minimalizacije vrednosti hrapavosti obrađene površine.

Takođe u literaturnim izvorima se može pronaći dosta analitičkih metoda koji su razvijeni i korišćeni za predviđanje parametara hrapavosti. Primena ANOVA analize je prisutna i u radovima koji se bave optimizacijom drugih izlaznih karakteristika procesa obrade rezanjem. M.A.Lajis [135] je razvio matematički model za predviđanje postojanosti alata za glodanje kaljenog čelika. Alauddinel i dr. [136] su predstavili razvijeni matematički model za postojanost alata pri obradi čelika za automate na glodalici pomoću velikih brzina rezanja pri suvoj obradi.

Analizom literaturnih izvora može se zapaziti da ne postoji puno radova koji su na dobijene eksperimentalne rezultate primenili i VNM i Fazi logiku i uporedno izvršili i analizu uz pomoć Tagučijevih metoda i ANOVA analize, a sve u cilju modeliranja i optimizacije obrade glodanjem.

2.8. Metod konačnih elemenata u oblasti obradnih procesa

Po definiciji, metod konačnih elemenata je metod za približno rešavanje takozvanih prostornih problema. Prostorni problemi su matematički problemi koji opisuju ponašanja ograničenog dela prostora pomoću parcijalnih diferencijalnih jednačina u funkciji vremena i prostora. U realnom telu, promenljive, kao na primer napon i temperatura, su funkcije svake generičke tačke. Stoga, matematički problemi ove vrste sadrže neograničen broj nepoznatih.

Metod konačnih elemenata je metod za računarsku analizu problema u mehanici, mehanici fluida, termodinamici i dr. U proizvodnji metod konačnih elemenata se pokazao kao nezamenljiva alatka u istraživačkom razvoju kao i u industrijskoj primeni.

Osnovni princip metoda konačnih elemenata je podela kontinuuma (prostora) na konačan broj delova, odnosno elemenata. Tako od početnog, veoma složenog problema, dobijamo konačan broj diskretizovanih i nezavisnih problema [137].

2.8.1. Analiza pomoću konačnih elemenata

Primena metoda konačnih elemenata na konkretan problem naziva se analiza pomoću konačnih elemenata (*Finite Element Analysis - FEA*). U opštem slučaju, analiza pomoću konačnih elemenata, sadrži sledeće korake [137]:

1. Diskretizacija kontinuuma (prostora)

Tokom diskretizacije model se deli na konačan broj elemenata (delova). Geometrijski oblik (Tabela 2.11.) upotrebljenih elemenata zavisi od vrste problema. Neke geometrije, posebno one napravljene za proizvodnju i uvezene iz CAD modula, su veoma složene da bi bile zahvaćene i pretvorene u punu heksaedarsku mrežu. Tetraedarski elementi mogu precizno da predstavljaju male delove određene geometrije koji ne mogu biti obuhvaćeni. Specijalna formulacija tetraedarskih elemenata se naziva deformacija bazirana na čvorovima, čime se eliminiše smicanje, problem koji se sretao kod tetraedarskih elemenata. Preciznost tetraedarskih elemenata olakšava kreiranje radne mreže koja može da predstavlja složenu geometriju.

2. Izbor funkcija interpolacije

Po određivanju geometrijskih osobina elemenata treba im dodeliti i čvorove i funkcije interpolacije. Funkcije interpolacije određuju kako prostorne promenljive utiču na svaki pojedinačni element.

3. Određivanje svojstava elemenata

Opisuje se ponašanje elemenata sa fizičke tačke gledišta. Drugim rečima, svojstva elemenata predstavljaju vezu između primarnih nepoznatih sistema (npr. pomeranje elemenata) i sekundarnih nepoznatih (npr. naponi).

4. Formiranje matričnih jednačina elemenata


















U cilju određivanja svojstava celokupnog sistema predstavljenog elementima, matrične jednačine elemenata se kombinuju da bi se formirale matrične jednačine sistema. Procedura "sastavljanja" matričnih jednačina elemenata oslanja se na činjenicu da su promenljive na čvornim mestima susednih elemenata iste vrednosti.

5. Rešavanje matričnih jednačina sistema

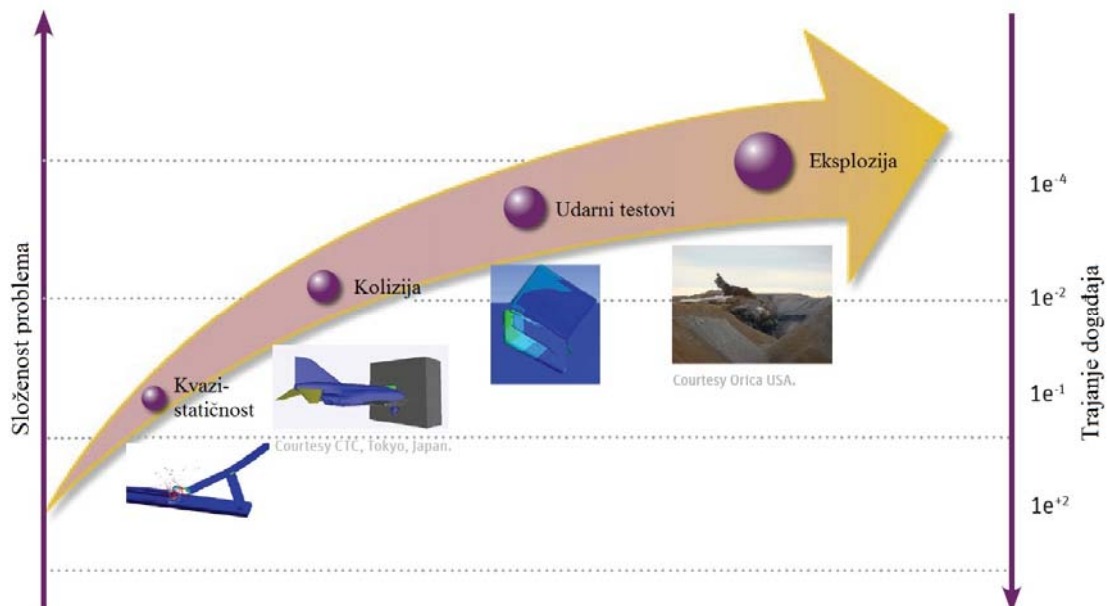
Ovaj proces uključuje primenu numeričkih intergacionih procedura koje zahtevaju rešavanje integrala u diskretnim tačkama u elementima, takozvanim integracionim tačkama.

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Tabela 2.11. Pregled geometrijskih oblika konačnih elemenata

| Geometrija \ Tip funkcije oblika | 1D | 2D | 3D |
|-------------------------------------|---|--|---|
| Pravougaona \ Linijska |  |  |  |
| Opšta kvadratna \ Linijska | |  |  |
| Kvadratna \ Zapreminska |  |  |  |
| Prostorno - kvadratna \ Zapreminska |  |  |  |
| Trougaona \ Linijska | |  |  |
| Trougaona \ Zapreminska | |  |  |
| Prostorno - trougaona \ Zapreminska | |  |  |

Na slici 2.31. dat je prikaz u vidu dijagrama odnosa složenosti problema i trajanja događaja, koji se uglavnom koriste u programskim paketima koji se bave rešavanjem uz pomoć metode konačnih elemenata. Na dijagramu se vidi da pojedini testovi traju duže, manje su komplikovani, ali da njihova materijalna vrednost nije velika. S druge strane to nije slučaj sa eksperimentalnim testovima na stvarnim objektima do kojih je veoma komplikovano doći. Ovi eksperimentalni testovi su nepredvidljivi, veoma kratko traju, a pritom mnogo više kostaju. Iz tog razloga danas se sve više i više ispiti ovakve pojave u poznatim programskim paketima, kao što je Ansys, 3D Deform, Advance Age i dr.



Slika 2.31. Odnos složenosti problema i trajanja događaja [138]

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

Složeni geometrijski oblici kao i složena opterećenja nosećih i prenosnih elemenata mašina uslovljavaju i složenost njihove analize i proračuna. Razlikuju se analitička i numeričke analiza proračuna. Obe metode, a posebno numerička su se razvile u više pravaca.

Metod konačnih elemenata spada u savremene metode numeričke analize. Teorijske osnove metoda konačnih elemenata su postavljene pedesetih godina, ali u praktičnu primenu ulazi sa intenzivnijom primenom računara. Nastao je iz potrebe za izračunavanjem napona i deformacija, a sa razvojem samog metoda povećao se i broj veličina koje se mogu izračunati u okviru statičke, dinamičke, termičke, elektromagnetne i drugih analiza.

Metod konačnih elemenata MKE (eng. *Finite Element Method - FEM*) spada u metododiskretne analize. Zasniva se na fizičkoj diskretizaciji posmatranog domena. Posmatrani kontinuum sa beskonačnim brojem stepeni slobode se aproksimira diskretnim modelom međusobno povezanih konačnih elemenata sa konačnim brojem stepeni slobode.

Suština aproksimacije kontinuuma po MKE se sastoji u sledećem:

- Posmatrani domen kontinuuma se deli na poddomene konačnih dimenzija koji se nazivaju konačnim elementima i zajedno čine mrežu konačnih elemenata.
- Konačni elementi su međusobno povezani u konačnom broju tačaka koje se nalaze na konturi elemenata i nazivaju se čvorovi.
- Stanje promenljive polja u svakom konačnom elementu se opisuje pomoću interpolacionih funkcija (ili funkcija oblika).
- Interpolacione funkcije su unapred zadate funkcije za jedan tip konačnog elementa i predstavljaju vezu između vrednosti promenljive polja u bilo kojoj tački konačnog elementa i vrednosti promenljive polja u čvorovima.

Način prevođenja kontinualnih fizičkih sistema u diskretne, tj. način formiranja sistema algebarskih jednačina pomoću kojih se aproksimira određeni konturni zadatak, definiše izbor MKE, koja se razlikuje od ostalih samo u pogledu formalnog pristupa.

Prema načinu na koji se formulišu i izvode osnovne jednačine MKE izvedena je podela na sledeće osnovne vidove:

- *direktna metoda,*
- *varijaciona metoda,*
- *metoda reziduuma i*
- *metoda balansa energije.*

Direktna metoda je analogna metodi deformacije u proračunu linijskih nosača. Koristi se za rešavanje jednostavnih problema, dok se varijaciona metoda zasniva na stacionarnosti energije i primenjuje se i na elementima jednostavnijeg i složenijeg oblika.

Metoda reziduuma je opšti vid aproksimacija po metodu konačnih elemenata koji počiva na diferencijalnim jednačinama razmatranih problema. Poslednja, metoda energetskog bilansa, se zasniva na balansu različitih vidova energija i najveću primenu ima u termostatičkoj analizi kontinuuma.

2.8.2. MKE u statici i dinamici nosećih struktura

Određena noseća struktura neke konstrukcije je predstavljena u realnom sistema sa beskonačnim brojem stepeni slobode. MKE koja predstavlja diskretizaciju strukture na elemente pravilnog geometrijskog oblika svodi ceo sistem na konačan, dovoljno veliki broj stepeni slobode. Nепrekidnost određenog domena strukture je obezbeđena jednakošću pomeraja

zajedničkim čvornim tačkama konačnih elemenata. Statički i dinamički proračun nosećih struktura bazira se na teoriji elastomehanike i dinamike sistema sa konačnim brojem stepeni slobode.

U zavisnosti od načina izbora osnovnih nepoznatih veličina u čvorovima mreže razlikuju se sledeći osnovni vidovi MKE:

- metoda pomeraja;
- metoda sila i
- mešovita metoda.

Najčešće je u primeni metoda pomeraja koja je zasnovana na principu virtualnih pomeraja, tj. da je zbir radova spoljašnjih i unutrašnjih sila nekog ravnotežnog sistema pri virtualnom pomeranju jednak nuli. Ako se u varijacionoj metodi krene od potencijalne energije kao funkcionalne, dolazi se do metode deformacije, a ako je funkcionalna komplementarna energija, definiše se metoda sila [139].

2.8.3. MKE u oblasti procesa rezanja

U narednim radovima autori govore o različitim oblastima i modelima primene sistema zasnovanih na metodama konačnih elemenata. Tako Ching Zone-Lin [140] Langražovim jednačinama opisuje proces rezanja preko 3D toplotno-elastično-plastičnog modela pomoću kojeg metodom konačnih razlika određuje toplotne izvore pri rezanju, takođe prikazuju relacije za određivanje prenosa toplote za 3D model. Ovde je razmatrana deformacija strugotine i uticaj temperature na gustinu materijala alata i sile pri rezanju. Sličnu problematiku procesa distribucije toplote pri procesu obrade rezanjem dali su i autori u literaturi [141, 142].

Grzesik i dr. [143-146] eksperimentalno i analitički istražuju termodinamičke uticaje na napadni ugao alata pri ortogonalnom rezanju. Merenje temperature na napadnom uglu alata je vršeno sa termoparovima. U ovim radovima je prikazana nova metodologija određivanja trenja i količine razvijene toplotne energije. Takođe je prikazana zavisnost porasta temperature od dužine kontakta alat-strugotina.

Lazard i dr. [147] analitički određuju toplotni fluks na alatu pomoću temperatura dobijenih eksperimentalnim ispitivanjem na pločici za rezanje. U ovom radu je takođe prikazano poređenje rezultata dobijenih numeričkom analizom metodom konačnih zapremina i eksperimentalnim putem.

Lazoglu, I., Altintas, Y. [148] prikazuju model baziran na numeričkoj metodi gde koriste metodu konačnih razlika za određivanje temperature alata i strugotine. Razmatrana je i zona smicanja između alata i strugotine i toplotni fluks između njih. Prikazani model je razmatran u stacionarnom i nestacionarnom stanju.

Messner, G. [137] u svom radu primenjuje model ortogonalnog rezanja za poređenje rezultata dobijenih eksperimentalnim putem i rezultata dobijenih računarskom analizom. Model je omogućio dobijanje sila i temperatura, kao i zaostalih napona koji se javljaju pri rezanju. Takođe autor u nastavku primenjuje numeričku analizu, odnosno metod konačnih elemenata na postavljeni model.

F. Ducobu i dr. [53,149] u svom radu žele da izvrše minimalizaciju debljine strugotine, odnosno žele da pokažu zavisnost debljine rezanja aproksimiranu preko korena strugotine sa numeričkog gledišta uz pomoć 2D analize konačnih elemenata. Prikazani rezultati istraživanja se odnose na mikroglođanje koje se u suštini zasniva na istim principima kao i makro glođanje kojim se ova doktorska disertacija bavi.

U radu [150], autori ceo proces mikroglodanja izučavaju na Al6061-T6, gde je simulirano rezanje pomoću metode konačnih elemenata (MKE). U okviru parametara obrade, potrebno je utvrditi tip oblika korena strugotine u zavisnosti od vremena u kom je došlo do prekida obrade. Izvršena je verifikacija eksperimentalnih rezultata sa modelom dobijenim uz pomoć MKE. Rezultati ovog rada su korisni da se shvati mehanizam i poboljšaju performanse mikroobrade kod glodanja.

U radu [151] se govori o formiranju korena strugotine pri velikim brzinama rezanja kod obrade legure livenog gvožđa. Usvajanjem ekvivalentnog modela geometrije korena strugotine, preko modela konačnih elemenata je razvijena studija o mehanizmu formiranja strugotine. Kako bi se formirao odgovarajući model potrebno je uvesti što više parametara koji ga opisuju, tu spadaju materijali od kog je konstruisan model, trenje koje se javlja na modelu, kriterijumi o modelima nastajanja korena strugotine, načinu odvođenja toplote iz zone rezanja, sile koje se javljaju pri formiranju strugotine. Svi ovi parametri doprinose poboljšanju preciznosti simulacije primenom konačnih elementa. Oblik korena strugotine u vidu testera-zuba smanjuje se pri porastu brzine rezanja, a povećava pri porastu pomaka. Shodno tome ovaj rad pruža doprinos i koristan je za razumevanje formiranja korena strugotine. I na kraju može da se kaže da ovaj proces pomaže da se optimizuju parametri obrade kod glodanja velikim brzinama rezanja legura od livenog gvožđa.

M. Calamaz i dr. u svom radu [152] takođe prikazuju numeričku analizu formiranja strugotine sa smicanjem lokalizovanim u procesu obrade legure titanijuma Ti-6Al-4V. Pomoću modela konačnih elemenata izvršena je analiza korena strugotine, morfologija i smicanje adijabatskih traka lokalizovanih u procesu obrade pri visokim brzinama vatrostalnih titanijumskih legura. Viskotemperaturni plastični model je postavljen kao materijal sa definisanom krutosti i termalnim ponašanjem za pretpostavljeni rezni alat. Studija pokušava da razume efekat ponašanja materijala na dobijenom korenu strugotine. Analizirani su uticaji karakteristika materijala (omekšanih deformacijom, toplotno žarenih, itd.) i parametri režima obrade na sile rezanja i morfologiju korena strugotine.

Takođe u radu [153] autori koriste metod konačnih elemenata za modeliranje prednapregnutog naponskog stanja korena strugotine formiranog u zoni rezanja materijala obrade od kaljenog čelika, rezanog sa pločicama od kubnog bor nitrida zasnovanog na super tvrdom polikristalnom stanju materijala alata.

2.8.4. Analiza programskih paketa

U analizi dosadašnjih rezultata primene MKE može se videti da autori u radu [154] koriste softverski program AdvantEdge gde žele da prikažu termo mehaničke promene, konkretno silu koja se javlja u procesu glodanja u zavisnosti sa stvarnim eksperimentalnim podacima. Distribuciju temperature i varijaciju toplotnog fluksa kod procesa obrade struganjem, sa akcentom na postojanost alata objašnjavaju autori u literaturi [155]. 3D modeliranje visokobrzinskog procesa obrade uz pomoć loptastog glodala primenom softverskog paketa ABAQUS je prikazano u radu [156], gde autori opisuju nastanak i distribuciju toplote, napona, odnosno sila rezanja koje se javljaju u kontaktu alata i obratka.

Simulacija procesa glodanja sa karbidnim alatom, visokih performansi, je teško zbog složenih odnosa između geometrije glodala koja se najbolje ogleda pri stvaranju strugotine u samom procesu rezanja. Autori u radu [157] uz pomoć sopstveno razvijenog softvera za trodimenzionalno rešavanje MKE vrše optimizaciju procesa glodanja. Softver je sekundarno razvijen na osnovu UG platformi, odnosno nadogradnjom na 2D dimenzionisanje.

2.0. Teorijske osnove i pregled dosadašnjih istraživanja

U radu [158] autori vrše uporedno istraživanje na tri različita softvera na bazi 2D simulacije. Analiza i modeliranje alata za procese rezanja su obavljani pomoću programskih paketa Deform 2D, Forge 2D i AdvantEdge. U radu [159] je predstavljeno modeliranje, simulacija i analiza uz pomoć MKE za procese: struganje, bušenje i glodanje. Sprovedeno je poređenje između najvažnijih komercijalnih softvera koji koriste sisteme MKE (Abaqus, Deform i AdvantEdge). Najvažniji deo ovog rada predstavlja opisivanje koraka pri samoj izradi simulacije uz pomoć MKE i to pred- procesiranje, simulacija i post procesiranje. Analiza najvažnijih rezultata simulacije se bavi: silama rezanja, naponima, formiranjem korena strugotine, habanjem alata i temperaturom pri obradi.

Jedan od vodećih programa, koji je svoj razvoj zasnovao na polju koje se bavi procesom obrade rezanjem je svakako softver Deform. Tako nalazimo radove koji su oslonjeni na analizu samog procesa rezanja, gde se koristi za modeliranje procesa, koje nastaje u samom korenu strugotine, ne stavlajući akcenat koja je obrada u pitanju [160,161], pa do konkretne obrade na bazi procesa struganja [162,163], glodanja [164,165], brušenja [166] i samog procesa deformisanja [167].

3.0. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

3.1. Opis eksperimenata pri čeonom glodanju

U ovom potpoglavlju dati su uslovi i metodologija pri eksperimentalnom ispitivanju. Uslovi se odnose na materijal obratka, mašinu alatku, rezni alat i izabrane režime obrade. Metodologija opisuje merne sisteme, uređaje i opremu korišćenu pri eksperimentalnim ispitivanjima.

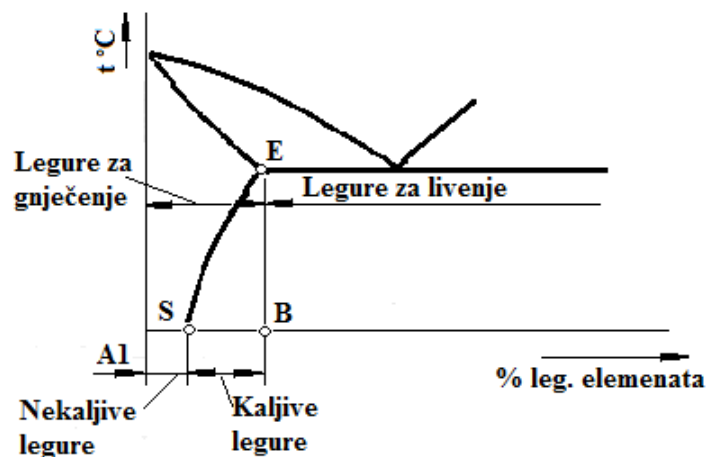
Materijal obratka

Eksperimentalna ispitivanja su izvedena na leguri aluminijuma 7075 (Al-Zn-Mg-Cu), koja je livena na dva načina. Prva legura je dobijena konvencionalnim livenjem, a druga legura je dobijena novom metodom livenja, odnosno SSM procesom. Širina i dužina svih obradaka je bila 100 mm, a debljina 15 mm. Hemijski sastav legure 7075 dat je u tabeli 4.1.

Legura aluminijuma 7075 spada u aluminijumske legure za gnječenje (plastičnu deformaciju), slika 3.1.

Tabela 3.1. Hemijski sastav legure oznake 7075.

| Oznaka legure | Osnovni element | Zn | Mg | Cu | Cr | Fe | Si | Mn | Ti |
|---------------|-----------------|-----|------|------|-----|------|-----|-------|-------|
| 7075 | Al | 5.8 | 2.52 | 1.65 | 0.2 | 0.18 | 0.1 | 0.025 | 0.025 |



Slika 3.1. Opšta šema dijagrama stanja legura [168]

Legure ovog tipa čvrstoću postižu mehanizmom taložnog ojačavanja. Kod ovih legura proces taloženja se sastoji iz tri faze: I-rastvarajuće žarenje, II-brzo hlađenje (gašenje), III-starenje. Starenje koje se odvija na temperaturi okoline naziva se prirodno starenje, a starenje na povišenim temperaturama naziva se veštačko starenje.

Legura 7075 (Al-Zn-Mg-Cu) nakon livenja može da ide na dalju preradu plastičnom deformacijom ili se koriste kao dobijeni odlivak. U tabeli 3.2. prikazane su mehaničke osobine legure aluminijuma 7075 u livenom stanju.

3.0. Eksperimentalna istraživanja

Tabela 3.2. Mehaničke osobine legure aluminijuma 7075 u livenom stanju

| Tip legure | Zatezna čvrstoća R_m [MPa] | Granica tečenja $R_{p0.2}$ [MPa] | Izduženje [%] |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| 7075-0 | 262 | 103 | 17 |

Legura 7075 koja je ispitivana u ovom radu nije termički tretirana, već su njene karakteristike ispitivane neposredno nakon livenja. Jedan deo legure je konvencionalano liven (KL), a na drugom delu legure je sprovedena nova "Semi Solid Metal" metoda livenja.

Mašina alatka

Mašina na kojoj su izvršeni zahvati glodanja je vertikalna glodalica "PRVOMAJSKA" FSS-GVK-3, slika 3.2. Ova mašina ima sledeće karakteristike:

- snaga elektromotora za glavno kretanje 14 , kW
- snaga elektromotora za pomoćno kretanje 2.2 , kW
- broj obrtaja glavnog vretena 28÷1400, o/min sa 18 stepeni prenosa
- brzina pomoćnog kretanja 16÷800, mm/min sa 18 stepeni prenosa
- maksimalni dozvoljeni obrtni moment 2746 , Nm
- maksimalno opterećenje stola 1500 , kg
- najveći hod stola u pravcu:
 - x-ose 1120 , mm
 - y-ose 355 mm
 - z-ose 400 mm
- mogućnost zakretanja ose vretena do 45°

Ova mašina je instalisana na Departmanu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu, u okviru Laboratorije za postupke obrade rezanjem.



Slika 3.2. Vertikalna glodalica

Rezni alat

Pri ispitivanjima je korišćena glava za čeonu glodanje “JUGOALAT” G.037 $\phi 100$ mm, sa mehanički pričvršćenim reznim pločicama slika 3.3., sledećih karakteristika :

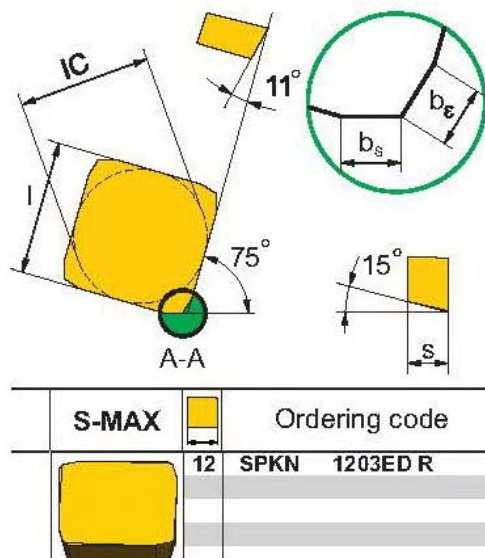
- broj zuba $z = 5$,
- napadni ugao $\kappa = 75^\circ$,
- grudni ugao $\gamma = 0^\circ$.

Kao rezni alat korišćene su okretne pločice od tvrdog metala kvaliteta K20, sledećih karakteristika ($l = IC = 12,7$ mm; $s = 3,18$ mm; $b_s = 1,4$ mm; $b_\epsilon = 1,4$ mm).



Slika 3.3. Glava za glodanje sa izmenljivim reznim pločicama G.037 $\phi 100$ mm

Dimenzije i geometrija rezne pločice su prikazani na slici 3.4. Svi eksperimenti su izvođeni sa jednozubim alatom, tj. sa jednom reznom pločicom ($z = 1$).



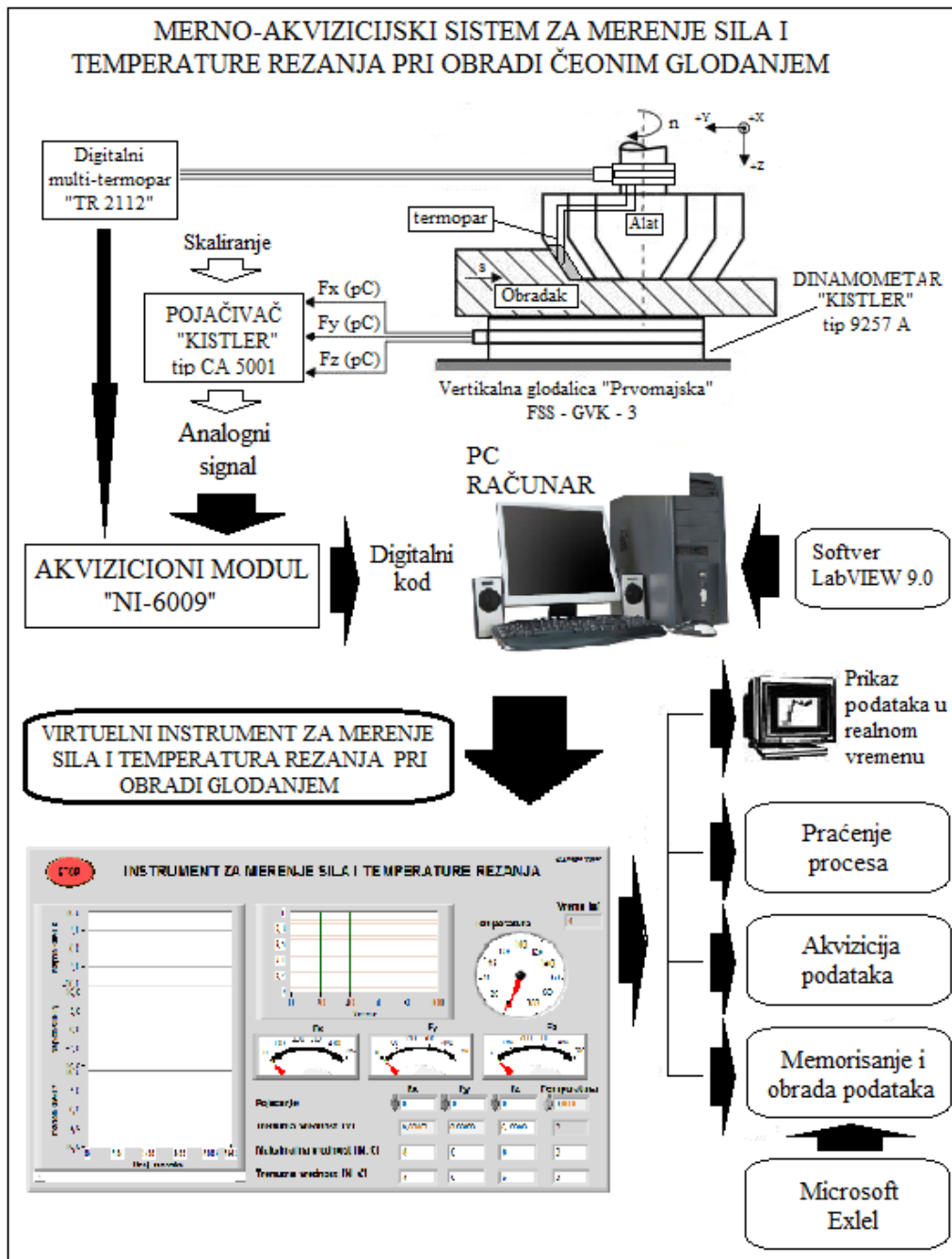
Slika 3.4. Geometrija korišćenih reznih pločica od TM [169]

3.0. Eksperimentalna istraživanja

3.1.1. Realizacija merno-akvizicionog sistema za merenje sila i temperature rezanja

Merenje sila rezanja u tri ortogonalna pravca i temperature rezanja izvršeno je uz pomoć merno akvizicijskog sistema razvijenog od strane članova Katedre za procese obrade skidanjem materijala.

Šematski na slici 3.5. prikazan je merno-akvizicioni sistem za merenje sila i temperatura rezanja pri glodanju primenom virtuelne instrumentacije.



Slika 3.5. Šema merenja pri obradi čeonim glodanjem

3.0. Eksperimentalna istraživanja

Sa slike se vidi da se sistem sastoji od sledećih komponenti:

- glodalica – “Prvomajska” FSS-GVK-3;
- dinamometar – “KISTLER” tip 9257A;
- pojačalo – “KISTLER” tip CA 5001;
- termopar „Ni-CrNi“
- digitalni multi-termometar ”TR 2112”
- NI-6009 – akvizicioni modul
- računar – PC sa instalisanim LabVIEW programskim paketom.

Akvizicija podataka podrazumeva prikupljanje signala sa mernih izvora i digitalizacija signala za skladištenje, njihovu digitalizaciju, analizu i prezentaciju na računaru. Uz pomoć LabVIEW-a razvijen je sofisticirani sistem za merenje, ispitivanje i upravljanje. Primenom ovog koncepta PC računar postaje zapravo virtuelni instrument.

Dinamometar “Kistler”9257a

Kao senzor za merenje sila rezanja korišćen je trokomponentni dinamometar “KISTLER”-9257A čiji je izgled prikazan na slici 3.6. To je piezoelektrični dinamometar namenjen za merenje sila u tri ortogonalna pravca (x, y i z) sa sledećim karakteristikama:

- maksimalno merno područje sile $F_x = \pm 5000, N$
- maksimalno merno područje sile $F_y = \pm 5000, N$
- maksimalno merno područje sile $F_z = \pm 10000, N$
- mogućnost preopterećenja 50 %
- inertnost $\pm 1\%$
- histerezis 2%



Slika 3.6. Piezoelektrični trokomponentni dinamometar “KISTLER” 9257A

U dinamometru je ugrađena merna ćelija kristala kvarca koja omogućava rad sa relativno većim frekventnim područjima. Električno punjenje (naboj) koji daje dinamometar strogo je proporcionalno merenim vrednostima.

Termopar „Ni-CrNi“

Termopar se u današnje vreme vrlo često koristi za merenje temperatura jer je pouzdan i tačan. Termopar fizički predstavlja spoj dva različita metala koji generiše termičku elektromotornu silu – EMS proporcionalnu temperaturi spoja (*Seebeck-ov efekat*). Sa termoparovima se mogu meriti temperature u opsegu od $-200^{\circ}C$ do $+4000^{\circ}C$. Izlazni napon koji

3.0. Eksperimentalna istraživanja

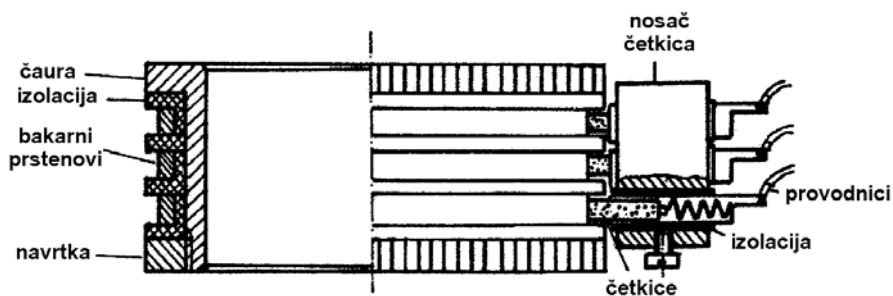
se generiše zavisi od vrste metala u spoju i obično je u opsegu od -10 mV do 50 mV. Termoparovi su najjeftiniji i najpogodniji temperaturni senzori. Mogu se koristiti u mnogo većem temperaturnom opsegu, ali im je preciznost zbog toga mala. Prednost im je što se mogu izraditi na licu mesta. Na slici 3.7. prikazano je više vrsta termoparova.



Slika.3.7. Termoparovi

Pomoću termoparova može da se efikasno izvrši merenje temperatura u tački ili odredi temperaturno polje u zoni rezanja pri različitim uslovima obrade. Najčešće se koriste standardni termoparovi, koji su baždareni tako da se temperature mogu direktno očitavati. Nedostatak ove metode je što je teško meriti temperature blizu sečiva, jer može doći do loma alata usled smanjenja njegove čvrstoće bušenjem otvora. Temperatura se može meriti na grudnoj, leđnoj i na površini oslanjanja pločice.

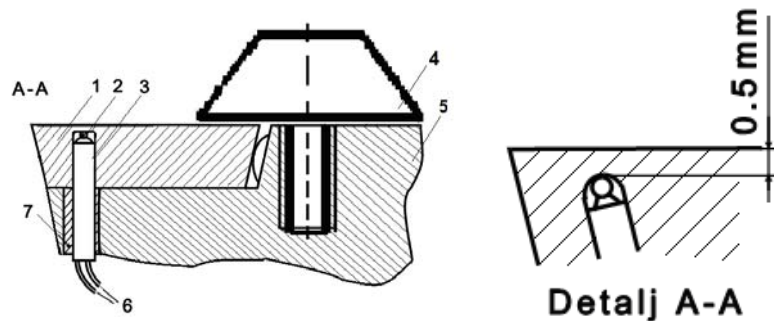
Kod glodanja, za razliku od obrade na strugu javljaju se problemi prenošenja signala sa alata na merni instrument. Shodno činjenici da alat pri glodanju vrši kružno kretanje nije moguće direktno voditi žice termopara do mernog instrumenta. Žice termopara se spajaju na bakarne prstenove koje zajedno sa grafitnim četkicama obezbeđuju klizni kontakt. Bakarni prstenovi su postavljeni na vreteno glodalice i izolovani su međusobno, a u odnosu na mašinu pomoću pertinaksa i pleksiglasa i okreću se zajedno sa vretenom. Grafitne četkice su postavljene u nosač specijalne konstrukcije slika 3.8, one miruju u odnosu na alat i izolovane su od nosača. Kontakt sa bakarnim prstenovima obezbeđuje se oprugama. Na svaki prsten postavljene su po dve četkice, da bi se obezbedio što bolji kontakt i smanjio gubitak napona zbog ekscentričnosti okretnih prstenova. Termonapon koji se javlja pri merenju temperature je veličine od 10 do 50 mV, tako da i mali gubici znače velike greške pri merenju [62].



Slika 3.8. Uređaj za prenos termonapona na merni instrument [144]

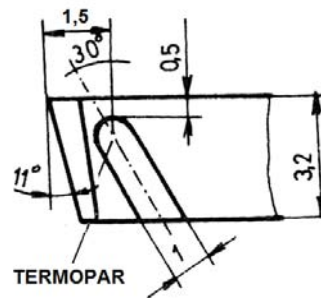
Termopar je pripremljen od žica Ni i CrNi prečnika 0,1 mm, koje su prethodno bile zavarene u obliku kuglice. U zoni visokih temperatura žice su bile izolovane pomoću keramičke cevčice prečnika 0.9 mm, slika 3.9. i slika 3.10. Dužina cevčice je bila oko 10 mm, a dalja je izolacija bila od PVC.

3.0. Eksperimentalna istraživanja



Slika 3.9. Pripremljena rezna pločica sa termoparom postavljena u telo glave za glodanje
1 - poligonalna pločica; 2 zavareni vrh termopara; 3 – keramička cevčica; 4 - vijak kojim se pričvršćuje pločica; 5 – telo alata; 6 - termopar izolovan sa PVC; 7 - lepak.

Merenje temperature je izvršeno ispod grudne površine, shodno prethodnim istraživanjima P. Kovača [62], gde su izvršena merenja na leđnoj i grudnoj površini alata, kao i na površini oslanjanja pločice. Kovač u svojim radovima dokazuje da postoji proporcionalna korelacija između ova tri merenja i shodno tome u ovom istraživanju je izbor pao na merenje temperature 0,5 mm ispod grudne površine. To je učinjeno i iz razloga da ne bi došlo do oštećenja termopara, pri svakom narednom merenju. Pri ovakvoj konstrukcionoj izvedbi, termopar bi u velikoj meri bio zaštićen od mogućih oštećenja.



Slika 3.10. Žljeb za smestaj termopara

Nezavisno od realizovanog merno akvizicijskog sistema, merenje temperature je sprovedeno i posredstvom termokamere *ThermoPro TP8S*, koja je poslužila kao još jedna verifikacija pouzdanog merenja temperature, slika 3.11. Rang merenja temperature je od -20°C do 800°C .



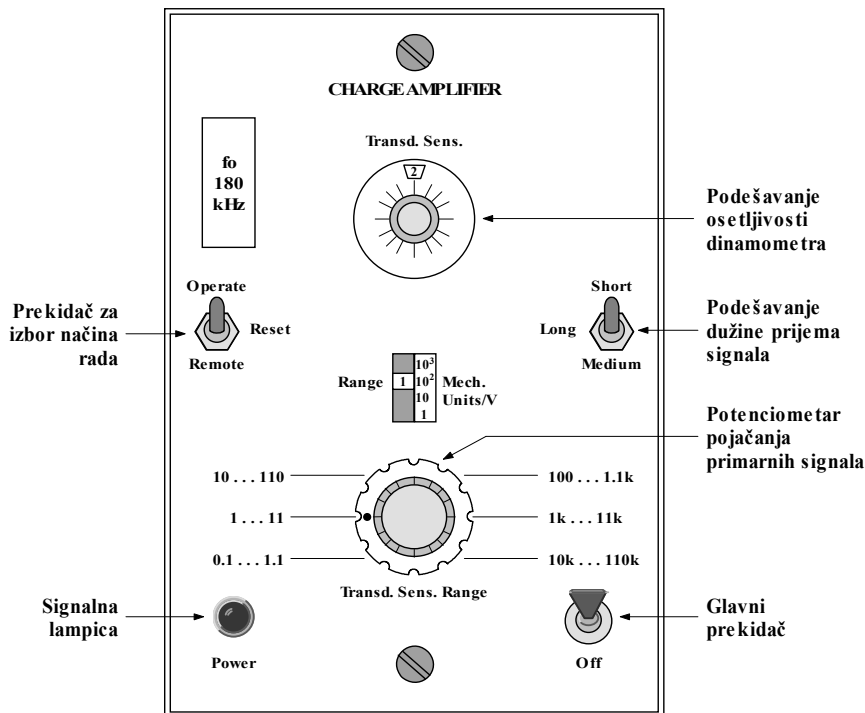
Slika 3.11. Termokamera *ThermoPro TP8S*

Pojačalo “KISTLER”-5001

Električni naboj koji stvara dinamometar se posredstvom pojačivača pretvara u analogni napon koji se tada može registrovati i dalje obrađivati. Kao pojačivač naboja koristi se pojačalo “KISTLER”-5001 čija je prednja strana prikazana na slici 3.12., a šema podešavanja na slici 3.13.



Slika 3.12. Pojačivač-pretvarač “KISTLER”- CA 5001



Slika 3.13. Šema podešavanja na pojačalu “KISTLER”- CA 5001

Pri obradi signala pojačalo koristi faktor skaliranja za silu takav da signali, koji se prosleđuju ka A/D konvertoru, budu u željenom opegu. Prekidačem za izbor načina rada selektuje se početak prijema signala kao i poništavanje već registrovanih. Ukoliko se odabere opcija REMOTE dobija se mogućnost daljinskog upravljanja početka prijema i poništavanja već izmerenih vrednosti signala. Potencijetrom za regulisanje dužine prijema signala određuje se da li će merni signal biti dug (LONG), kratak (SHORT) ili srednje dužine (MEDIUM). LONG se koristi za prijem signala koji vremenski relativno duže traju, a SHORT za prijem signala trenutnog karaktera. MEDIUM se koristi za signale koji su po vremenu trajanja između ova dva ekstrema.

Digitalni multi-termometar "TR 2112"

Digitalni multi-termometar TR 2112, slika 3.14., poseduje digitalni displej sa maksimalnim prikazom 4 broja (1999), može da meri temperaturu, jednosmernu i naizmeničnu struju, napon i otpornost. Rang merenja temperature je od -100°C do 1600°C .



Slika. 3.14. Digitalni multi-termometar TR 2112

Pri merenju temperature na uređaju može da se selektuje pet raličitih vrsta termoparova: CC, IC, CRC, CA i PR. Merni rang temperature i materijal tipa termopara dat je u tabeli 3.3. Uređaj TR2112 poseduje analogni izlaz koji se direktno spaja na akvizicijsku karticu NI 6009, preko koje se digitalizuju vrednosti temperature na PC računaru. U ovom slučaju multi-termometar služi kao hardver za prilagođavanje signala.

Tabela. 3.3. Temperaturni rang i materijal termopara

| Simbol | Temperaturni rang [°C] | Materijal | |
|--------|---------------------------|-----------------|------------|
| | | + pol | - pol |
| CC | -100 - 200 | bakar | bakar-nikl |
| IC | 0 - 800 | gvožđe | bakar-nikl |
| CRC | 0 - 800 | nikl-hrom | bakar-nikl |
| CA | 0 - 1200 | nikl-hrom | nikl |
| PR | 0 - 1600 | platina-rodijum | platina |

NI USB-6009 – Akvizicioni modul

U početku je Universal Serial Bus (USB) bio dizajniran za povezivanje periferih uređaja, kao što su tastature i miševi na PC računaru. Međutim, USB se pokazao koristan za mnoge aplikacije, uključujući i merenje i automatizaciju. Savremeni USB sistemi povećavaju brzinu prenosa podataka do 480 Mb/s što ih čini konkurentnim u odnosu na ostale vrste magistrala.

USB merni uređaj (NI USB-6009) pruža osnovne funkcionalnosti digitalne akvizicije podataka za jednostavnu primenu pri prikupljanju podataka, prenosivih merenja i akademskih laboratorijskih eksperimenata. NI USB-6009 je ekonomičan višefunkcionalni modul namenjen za akviziciju podataka, testiranje, merenje i procesno upravljanje i dovoljno je moćan za više sofisticirane merne aplikacije. Sistem prati dijagnostički softver (LabView 9) i softverski drajveri (DAQ 9.5) koji olakšavaju razvoj aplikacija u Windows okruženju.

NI USB-6009 je specijalno konstruisan za mobilne merno-akvizicione zadatke. Brzina instalacije minimizuje vreme potrebno za konfigurisanje uređaja, a specijalni konektori omogućavaju lak i jednostavan način za priključivanje mernih signala na uređaj. Pošto je uređaj napajan preko USB magistrale nije potrebno ni dodatno eksterno napajanje. Ugrađeni NI-DAQmx drajveri i DAQ Assistant merni softver, omogućavaju veoma lak i brz način da se realizuje merno-akvizicioni zadatak. Na slici 3.15. prikazan je NI USB-6009 merni uređaj. Napajan je preko USB kabla i pripada USB M Seriji multifunkcijskih Data Acquisition (DAQ) modula, optimizovanih za brzo semplanje podataka i visoku tačnost merenja. Poseduje 8

3.0. Eksperimentalna istraživanja

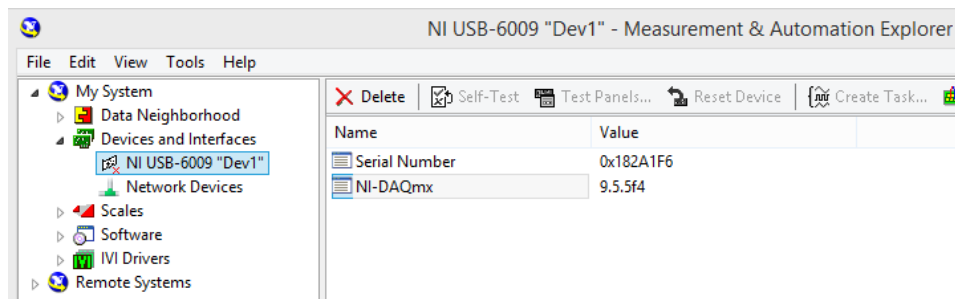
analognih ulaza, brzina semplanja od 48 kS/s, dva analogna izlaza, 12 digitalnih ulaza-izlaza, digitalno trigerovanje signal kao i dva brojača-tajmera. Ovaj uređaj takođe podržava i najnoviju *NI signal streaming* tehnologiju koja omogućava veoma brz prenos podataka na hard disk PC računara.



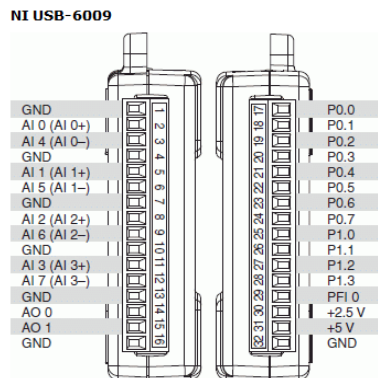
Slika 3.15. A/D kartica NI USB-6009

Drajver DAQ je sloj softvera za laku komunikaciju sa hardverom. To stvara srednji sloj između aplikativnog softvera i hardvera. Produktivnost softvera virtualne instrumentacije (DAQ) je znatno uznapredovala otkad uključuje opšte znanje integrisanja i kontrole hardvera. Ovaj softver je uglavnom dizajniran za stvaranje test, mernih i kontrolnih sistema. LabView okruženje postaje veoma moćan kada ima integrisan DAQ modul. Za kreiranje prikazanog virtuelnog instrumenta korišćena je verzija drajvera DAQ 9.5.

Pre upotrebe NI LabVIEW softvera za merenje sa NI USB-6009 uređajem, mora da se podesi i konfigurise uređaj. *NI Measurement & Automation Explorer* je odgovarajući upravljački program za povezivanje, konfigurisanje i testiranje uređaja, slika 4.16. Takođe opisuje i proces podešavanja sa NI USB-6009 uređaja, test uređaja, način povezivanja itd., slika 3.17.



Slika. 4.16. Detektovanje uređaja NI USB-6009



Slika. 3.17. Pinaut-i uređaja NI USB-6009

VIRTUELNI INSTRUMENT

Virtuelni instrument koji se koristi za akviziciju podataka dobijenih prilikom glodanja nazvan je *INSTRUMENT ZA MERENJE SILA I TEMPERATURE REZANJA*. Osim jednostavnog očitavanja vrednosti napona za sile sa dinamometra i temperaturu sa termopara, virtuelni instrument je koncipiran tako da prikazuje kako promenu vrednosti sila, tako i promenu vrednosti temperature na dijagramu, prikaz maksimalnih i trenutnih vrednosti u određenim vremenskim intervalima.

Virtuelni instrument koji se ovde ilustruje ima jednostavnu funkciju:

1. Generisanja signala.
2. Prikaza generisanog signala na grafu panela.
3. Snimanje signala na hard disk.

Izrada virtuelnog instrumenta se vrši u programskom paketu LavVIEW. Svaki virtuelni instrument sadrži sledeće komponente:

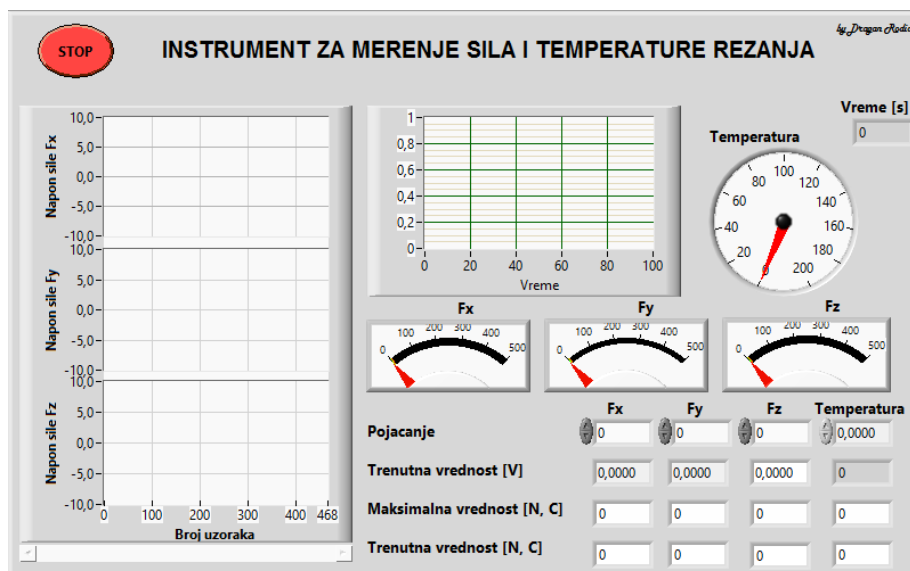
- **Front panel**
- **Blok dijagram**

Front panel ima ulogu korisničkog interfejsa. Kreiranje korisničkog interfejsa ostvaruje se postavljanjem raznih kontrola i indikatora.

Blok dijagram sadrži grafički izvorni kod, kojim se definiše funkcionalnost virtualnog instrumenta.

Front panel je prozor u koji se postavljaju upravljački i indikatorski objekti putem kojih korisnik može interaktivno učestvovati u samom izvršavanju programa. On se često naziva i prednjom pločom, a i sam originalni naziv upućuje na prednju ploču mernog instrumenta. Upravljački objekti predstavljaju ulazne terminale koji mogu biti razne varijante prekidača, preklopnika, klizača, potencijometara i ostalih ulaznih uređaja. Indikatorski objekti predstavljaju izlazne terminale koji mogu biti razne vrste grafika, LED pokazivača i ostalih prikazivača.

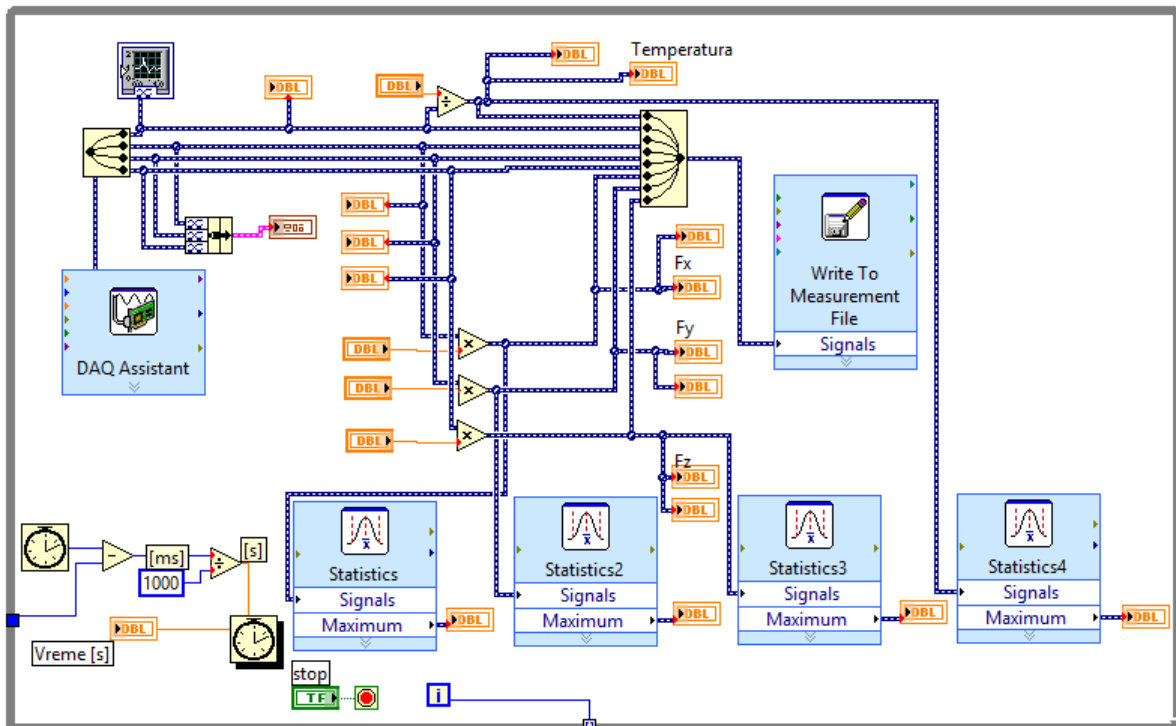
Front panel predstavlja korisnički interfejs virtualnog instrumenta. Uopšteno govoreći, prvo se kreira front panel, a zatim blok dijagram. Odabiranjem upravljačkih i indikatorskih objekata sa palete alata i njihovim postavljanjem na front panel, vrši se njegova izgradnja, slika 3.18.



Slika 3.18. Korisnički interfejs (prozor front panela)

Blok dijagram

Nakon izgradnje front panela u prozor blok dijagrama se dodaje kod kojim se vrši upravljanje postavljenim objektima. Kod je grafička prezentacija funkcija kojima se to upravljanje obavlja. Blok dijagram je prozor koji se simultano otvara sa otvaranjem front panela i sadrži izvorni kod programa u grafičkom obliku. Grafički oblik daje akcenat na protok podataka i samim tim se problem postavlja u ravan jasnog fizičkog poimanja. Samo rešavanje problema dobija prirodniji oblik, a informacija i njen tok ovom predstavom dobijaju prioritet. Na slici 3.19. dat je izgled blok dijagrama koji se koristi pri eksperimentalnom merenju.



Slika 3.19. Blok dijagram virtuelnog instrumenta

Front panel objekti se predstavljaju odgovarajućim terminalima na blok dijagramu. Dvoklikom miša na blok dijagram terminal, posebno se markira odgovarajući objekat na front panelu. Terminali predstavljaju ulazne, odnosno izlazne tačke na kojima se vrši razmena informacija između front panela i blok dijagrama. Podaci koji se unose u upravljačke objekte na front panelu, ulaze u blok dijagram preko odgovarajućih upravljačkih terminala. Tokom izvršavanja programa, izlazni tok podataka ide preko indikatorskih terminala gde napuštaju blok dijagram i vraćaju se na front panel. Tamo se podaci prikazuju na front panel indikatorskim objektima.

Grafičko povezivanje predstavlja najefikasniju tehniku za realizaciju programa PC baziranog merno-akvizicionog sistema. Savremeni programski alati zasnovani na konceptu grafičkog programiranja pružaju mogućnost kvalitetnog razvoja programa za akviziciju podataka, upravljanje, analizu i prezentaciju. Osnovu programa virtuelnog instrumenta predstavlja blok dijagram. S obzirom da se program kreira korišćenjem grafičkih simbola, programer je oslobođen teškoća vezanih detaljno uoznavanje na kom principu rade ovi simboli, što nije slučaj kod klasičnih programskih paketa. Pisanje koda za kontrolu korisničkog interfejsa uglavnom znači

3.0. Eksperimentalna istraživanja

kreiranje blok dijagrama sa već definisanim strukturama koje se nalaze u bibliotekama LabVIEW-a, gde se strukture prilagođavaju potrebama podešavanjem izmenjivih parametara (konfigurisanjem).

Realizacija grafičkog programa, koji se u LabVIEW programskom paketu naziva blok dijagram, odvija se u tri koraka: izborom funkcija, povezivanjem funkcija i konfigurisanjem funkcijskih parametara. Funkcije se biraju preko paleta i menija. U slučaju složenih funkcija, dizajneru ostaje mogućnost realizacije korišćenjem više funkcionalnih blokova. Povezivanje izlaza i ulaza izabranih funkcija je potrebno u cilju funkcionisanja merno-akvizicionog sistema, obrade i prikazivanja podataka, odnosno za obezbeđenje određenog toka informacija. Nakon izbora funkcija i njihovog povezivanja, vrši se zadavanje parametara pojedinih funkcijskih blokova u skladu sa zahtevima koji se u konkretnoj primeni postavljaju.

Na radnoj površini Block Diagram editora, nakon svih akcija nalaze se blokovi koji mogu biti povezani odnosno nepovezani, ali svi sadrže informacije (atribute) kontrola kojima su pridruženi. Izmenom odgovarajućih atributa utiče se na ponašanje kontrole. Povezivanje blokova se vrši njihovim “ožičavanjem”, pozicioniranjem kursora kod odgovarajućih izvoda (portova) na oba bloka i uspostavljanjem veze.

U prozoru blok dijagrama se piše tj. projektuje programski kod virtuelnog instrumenta. Terminali koji se nalaze u blok dijagramu predstavljaju kontrole koje se nalaze na front panelu. Povezivanje kontrola (ožičavanje) i dodavanjem struktura i funkcija formira se programski kod LabVIEW-a.

Osnovni elementi u blok dijagramu:

- terminali (terminals)
- čvorovi (nodes, statments)
- žice (wires)
- strukture (structures)

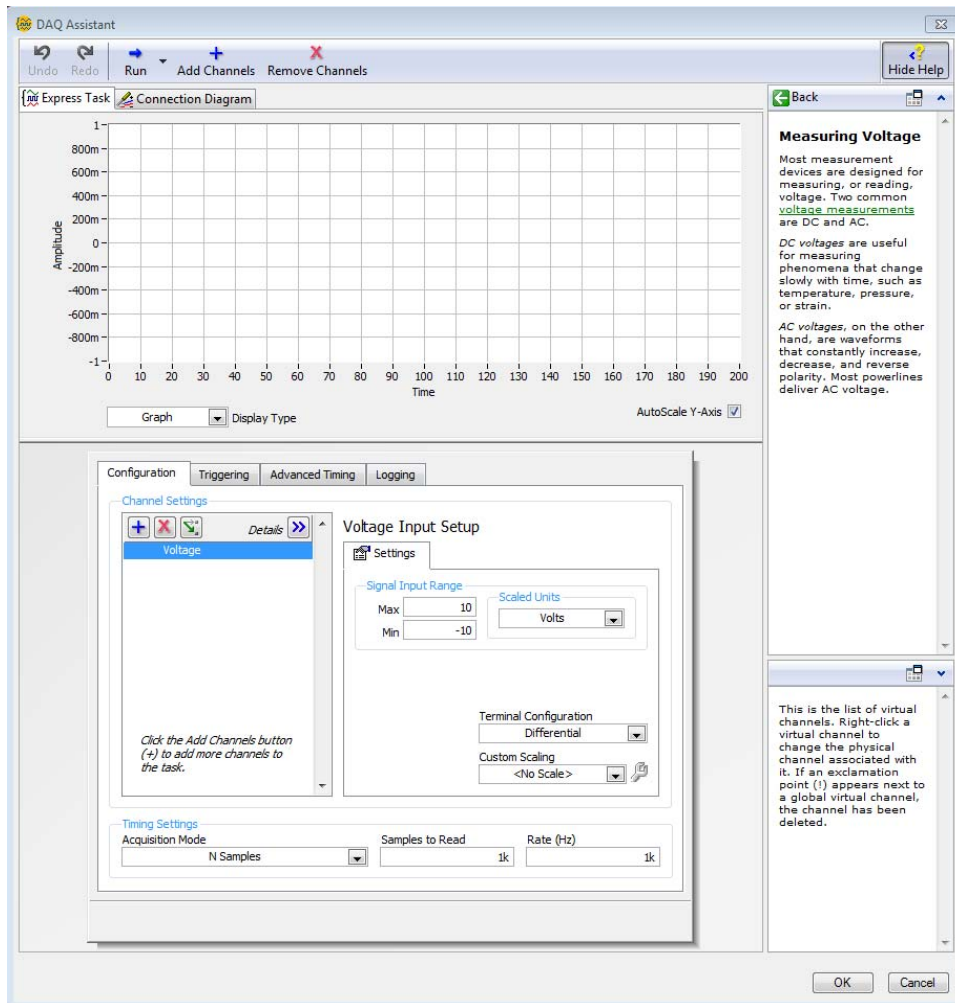
Za izradu virtuelnog instrumenta koji se koristi za akviziciju podataka dobijenih prilikom glodanja pod nazivom *INSTRUMENT ZA MERENJE SILA I TEMPERATURE REZANJA* koristi se *While loop* struktura. While loop - izvršava uokvireni skup instrukcija sve dok se ne ispuni zadati uslov.

Daq Assistant – interaktivni vodič za konfigurisanje, testiranje i prikupljanja mernih podataka. Sa jednim klikom, može se čak i generisati kod na osnovu konfiguracije, čineći da se lakše i brže razvijaju kompleksne operacije, slika 3.20. Korišćenjem menija DAQ assistant-a smanjuju se programske greške i drastično se smanjuje vreme podešavanju DAQ sistem pri izvođenju merenja. U meniju DAQ assistant-a se bira broj kanala, fizička vrednost koja se meri, broj uzorkovanja (semplovanja) u sekundi i prikazuje način povezivanja hardvera, slika 3.21.



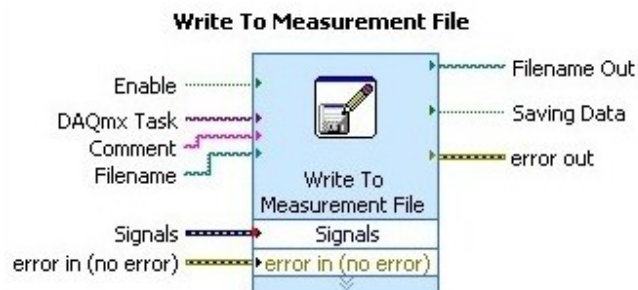
Slika 3.20. Interaktivni vodič za konfigurisanje, testiranje i prikupljanja mernih podataka

3.0. Eksperimentalna istraživanja



Slika.3.21. Prozor za podešavanje fizičkog signala ulaznog kanala

Postoji nekoliko opcija čuvanja mernih podataka u LabVIEW-u. Za čuvanje podataka merenja koji generišu virtualni instrumenti u tekstualnom fajlu se koriste **Write To Measurement File Express VI** funkcije, slika 3.22.



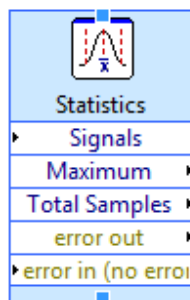
Slika 3.22. Write To Measurement File Express VI funkcije za čuvanje podataka

Funkcija **Write To Measurement File**. upisuje podatke merenja u datoteku zasnovanu na tekstu (.lvm), datoteku binarnog merenja sa zaglavljem (.tdm) ili binarnog merenja bez zaglavlja (.tdms).

3.0. Eksperimentalna istraživanja

Podaci merenja zasnovani na tekstu su tekstualni fajl koji se može otvoriti korišćenjem *spreadsheet* aplikacija tipa *excel* ili aplikacije za obradu teksta. Fajl *xxx.lvm* sadrži zaglavlja informacije o podacima, kao što su datum i vreme generisanih podataka. LabVIEW koristi podatke do šest cifara preciznosti u zasnovanom na tekstu *.lvm* fajlu, ali više preciznosti se može postići koristeći *.tdm* ili *.tdms* binarni fajl merenja.

DAQ softver poseduje biblioteku funkcija za statističku obradu podataka. Statistika, proučavanje verovatnoće, prikazuje informacije koje rezimiraju podatke i pretstavljaju ih u lakoj formi za tumačenje. U LabVIEW-u, pri instaliranim DAQ drajverima, programu mogu se obavljati verovatnoće, deskriptivne statistike, analize varijanse i interpolacija itd., koristeći blok **Statistic**, slika 3.23. Koristeći ovu funkciju različiti statistički proračuni se mogu prikazati pri pokretanju virtuelnog instrumenta koji su potrebni za mereni set podataka u podešenom intervalu: histogram, trenutna vrednost, maksimalna vrednost, histrezis, standardna devijacija itd.



Slika 3.23. Blok za statističku obradu podataka

3.1.2. Uređaj za merenje površinske hrapavosti „MARSURF PS1”

Savremeni merači hrapavosti obrađene površine služe za brzo merenje neravnina na površini objekta. Uređaji pokazuju kako maksimalnu visinu neravnina R_{max} , tako i srednju vrednost hrapavosti R_a u μm . Jednostavno rukovanje uređajem omogućava brzo ispitivanje površine objekta. Merač hrapavosti skenira površinu unutar par sekundi i pokazuje hrapavost direktno u R_a ili R_{max} . Pored ovih veličina, moguće je izmeriti i ostale veličine hrapavosti, od kojih je u ovom istraživanju izabrana i srednja geometrijska hrapavost R_q kao i maksimalna hrapavost u 10 tacaka R_z . Ovi uređaji se isporučuju kompletno sa test pločom, zaštitnom kapom za tipku, akumulatorom i punjačem.

Za potrebe ovog istraživanja, tj. merenja hrapavosti obrađene površine, korišćen je uređaj „MarSurf PS1”, firme „Mahr Metrology” sa sedištem u SAD, slika 3.24. MarSurf PS1 je kompaktan uređaj za merenje hrapavosti koji može da se koristi za mobilnu upotrebu. Maksimalni merni raspon je $350 \mu m$ (od $-200 \mu m$ do $+150 \mu m$). Uz ugrađeni motor mernog pipka merenja se mogu obaviti na bilo kom mestu, bez potrebe prilagođavanja tokom instalacije. Maksimalna dužina merenja iznosi $17,5 mm$ (ova vrednost odgovara pravolinijskom hodu mernog pipka). Pored ove mere standardne dužine su $1,75 mm$ i $5,6 mm$. Uređaj je pogodan za rukovanje i upotrebu, to se naručito ogleda pri merenju hrapavosti na mestima koja nisu lako dostupna. Takođe ovaj uređaj zadovoljava i standarde Međunarodne organizacije za standardizaciju DIN EN ISO 3.274.

Uređaj ima otvoreni merni pipak dizajniran po visokim standardima, koji praktično eliminiše uticaj čestica prljavštine i ulja na merni rezultat. Vrsta pričvršćivanja uređaja, kako bi se omogućilo kontrola po vertikali, podržava mnogo različitih načina za instalisanje uređaja što

3.0. Eksperimentalna istraživanja

čini vertikalnu regulaciju instrumenta vrlo jednostavnim.

Čvrsto kućište čini „MarSurf PS1” idealnim za rad u teškim uslovima. Uređaj kombinuje ergonomski dizajn s jasno raspoređenim kontrolerima i LCD monitorom, posebno dizajniranim za lako čitanje.

Kompaktan oblik i male težine (oko 400 g) čine „MarSurf PS1” idealnim za mobilnu upotrebu. Ugrađena punjiva baterija osigurava dovoljan kapacitet da radi nekoliko dana.

„MarSurf PSV”-ov USB interface omogućava povezivanje uređaja direktno na računar. To omogućuje merenje rezultata i profila, koji će biti prebačeni na računar za procenu pomoću softvera MarSurf XR 20. Dodatne opcije omogućavaju fleksibilno upravljanje, vrednovanje i dokumentaciju o rezultatima merenja. Osim programa MarSurf PS1 V1.01, softver „MarSurf PS1 Explorer” omogućuje da se stvore izveštaji i profili merenja koji se mogu sačuvati i ispisati. Softver isto tako dozvoljava da se kopiraju profili i datoteke s rezultatima „MarSurf PS1” direktno na računar.



Slika 3.24 „MarSurf PS1“

Zbog brojnih dodataka, „MarSurf PS1” ima široku raznolikost aplikacija:

- Za složene merne zadatke, kao što su merenja hrapavosti radilica i bregastih osovina, koje se mere u aksijalnom pravcu, uređaj koristiti dodatni pribor za poprečne dimenzije,
- Dodatni nosač u obliku slova „V” omogućava merenje na ravnim i cilindričnim površinama svih delova.

Radni uslovi kojih bi trebalo da se korisnik pridržava su: temperaturni raspon za skladištenje i transport od -10°C do $+40^{\circ}\text{C}$, radna temperatura od $+5^{\circ}\text{C}$ do $+40^{\circ}\text{C}$, relativna vlažnost vazduha maksimalno 85%, klasa zaštite: IP40.

Režim obrade

Režim obrade obuhvata sledeće elemente :

- brzinu rezanja v , odnosno odgovarajući broj obrtaja na mašini n ;
- pomak po zubi s_1 , odnosno odgovarajuću brzinu kretanja stola glodalice s , tako da je: $s = s_1 \cdot z \cdot n$ pri čemu je broj zuba pri obradi $z=1$;
- dubinu rezanja a .

Vrednosti elemenata režima obrade usvojeni su na osnovu preporuka iz literature i prikazani su u tabeli 3.5.

Izlazne veličine kod ovog eksperimenta bile su sile rezanja, temperatura u zoni rezanja i parametri hrapavosti obrađene površine, mereni u pravcu normalnom na tragove obrade (poprečna hrapavost). Obrada je izvođena bez sredstava za hlađenje i podmazivanje.

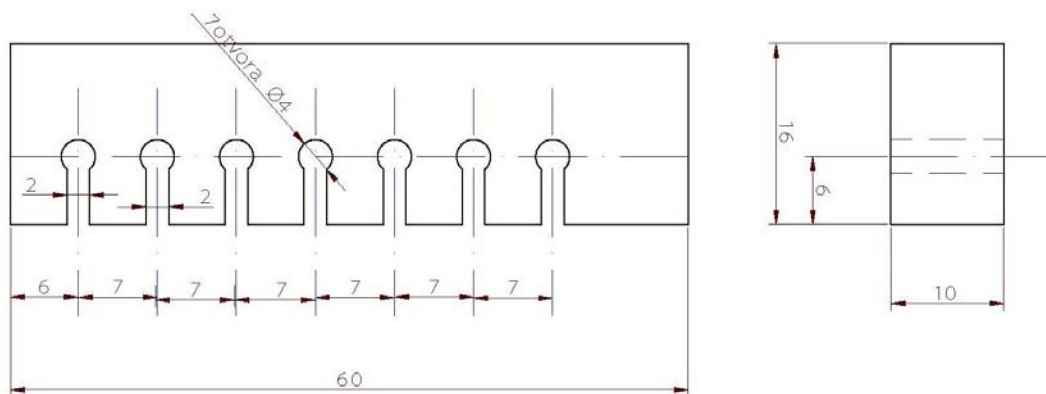
3.2. Opis eksperimenata pri obimnom glodanju

U ovom potpoglavlju su dati metodologija i uslovi pri eksperimentalnom ispitivanju kod obimnog glodanja.

- Materijal obratka je isti kao i pri čeonom glodanju, tj. legura aluminijuma livena u dva stanja.
- Mašina alatka je ista kao i pri prvom ispitivanju, tj. vertikalna glodalica “PRVOMAJSKA” FSS-GVK-3
- Kao rezni alat je korišćena glava za čeonu glodanje sa pozitivnim uglom rezanja “JUGOALAT” G.037 $\phi 100$ mm, sa mehanički pričvršćenim reznim pločicama od tvrdog metala K20, s tim da je nosač vretena glodala zaokrenut za 15° kao bi rezna pločica obuhvatila svojom širinom čitav uzorak. Širina uzoraka je bila 10, mm, a dimenzije pločice su 12x12 mm. Shodno tome, pločica je obuhvatala čitavu širinu uzorka i mogla je da neometano izvede ovo obimno glodanje.

Cilj eksperimenata je dobijanje uzoraka korena strugotine od legure aluminijuma pri suprotnosmernom obimnom glodanju za različite režime obrade. Za dobijane uzorke korena strugotine korišćeno je brzo zaustavljanje procesa rezanja metodom programiranog kidanja dela materijala obratka, koje je opisano u predhodnom poglavlju, slika 2.6.

Ovako dobijeni uzorci pristupaju metalografskoj analizi radi istraživanja procesa nastajanja strugotine. Konstruktivno rešenje obratka mora biti takvo da brzo i lako može da se pređe na dobijanje sledećeg uzorka. Uzorci su izvedeni u vidu epruveta, prikazanih na slici 3.25.



Slika 3.25. Izgled i dimenzije epruveta za dobijanje korena strugotine

Karakterizacija materijala

Za proučavanje procesa formiranja strugotine pomoću ove metode koriste se uzorci dobijeni metodom brzog zaustavljanja procesa, o čemu je već ranije bilo reči. Sama priprema uzoraka vrši se na sledeći način: najpre se uzorci ulivaju u termoplastičnu smolu, zatim se bruse i na kraju poliraju.

Operacija ulivanja uzoraka u termoplastične smole se obično obavlja u hidrauličnoj presi. U ovom radu to nije rađeno zbog veoma malog broja uspešnih uzorak. Zbog toga je ulivanje obavljeno ručno, u ručno izrađenim kalupima, koristeći dvokomponentnu “SIGMAL” smešu. U suhu i čistu staklenu posudu se dozira 20 kapi SIGMAL tečnosti i dodaje SIGMAL prašak do zasićenja, tako da se na površini zadržava višak suvog praška, koji se potom skida. Na ovako

3.0. Eksperimentalna istraživanja

dozirane komponente dodaje se ponovo još 10 kapi SIGMAL tečnosti. Ova doza se povećava prema potrebi i pri tome se mora držati principa: prvo se dozira potreban broj kapi tečnosti, potom se dodaje potrebna količina praška do zasićenja, pa se ponovo doda 50% od prvobitno doziranog broja kapi tečnosti. Doziranje treba obaviti dovoljno brzo tako da ne traje duže od 15 do 20 sekundi. Vreme mešanja je 40-45 sekundi, a vreme predviđeno za rad oko 3 do 4 minuta. Smeša očvrstne u intervalu od 15 do 18 minuta u zavisnosti od temperature materijala i prostorije gde se izvodi. Preporučena temperatura prostorije je oko 21 °C.

Operacija brušenja se obavlja na mašini za mokro brušenje. Na slici 3.26. prikazana je mašina na kojoj je vršena priprema uzoraka.



Slika 3.26. Mašine za mokro brušenje

Naziv ove mašine je KNUTH ROTOR, a proizvođač je STRUERS iz Danske. Mašina ima dve ploče prečnika 230 mm koje se obrću sa 280 o/min. Putem principa koji je patentiran u mnogim zemljama postiglo se da se brusna hartija pričvrsti bez lepljenja ili zatezanja, tako da se ona može slobodno rastezati, a da pri tome uvek ostane glatka i ravno nalegnuta. Mašina ima dve pokretne mlazne cevi. Prijemna posuda je tako oblikovana da sakuplja brizgove, a da je pri tome brusna površina slobodno pristupačna. Brušenje uzoraka vrši se brusnim hartijama gradacije 150, 180, 220, 360, 400, 600, 800, 1000, 1500, 2000, 2400 pri čemu je 150 najgrublja, a 2400 najfinija brusna hartija. Operacija brušenja se izvodi na sledeći način: na jednoj brusnoj hartiji se uzorak brusi u jednom pravcu, na sledećoj brusnoj hartiji u upravnom pravcu i tako naizmenično.

Nakon najfinijeg brušenja uzorci idu na završnu operaciju pripreme - poliranje. Operacija poliranja se obavlja na metalografskoj mašini za poliranje. Na slici 3.27. je prikazana jedna takva mašina na kojoj je vršena priprema uzoraka za ovaj rad.

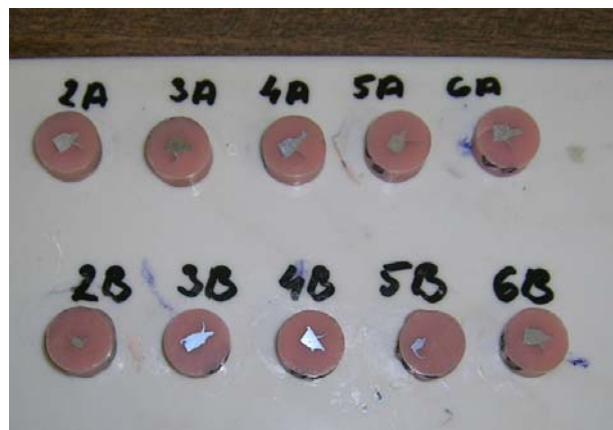


Slika 3.27 Metalografska mašina za poliranje

3.0. Eksperimentalna istraživanja

Naziv mašine je DP-U2, a proizvođač je STRUERS iz Danske. DP-U2 je opremljen jednim elektro tahometrom, ampermetrom i električnom kočnicom. Mogu se upotrebljavati ploče za poliranje prečnika 200 ili 300 mm kao i ploče za vlažno poliranje (Knuth - Rotor metoda). Operacija poliranja se odvija u tri podoperacije sa različitim tkaninama i različitim DP-pastama. DP-paste su specijalne metalografske dijamantske paste kod kojih su krupnoća i oblik dijamantskih zrna brižljivo ispitani i održavaju se u uskim granicama. U prvoj podoperaciji se vrši poliranje uzoraka na tkanini oznake DUR sa DP-pastom krupnoće zrna od 6 μm . U drugoj podoperaciji se vrši poliranje uzoraka na tkanini oznake NAP sa DP-pastom krupnoće zrna od 3 μm . U trećoj podoperaciji se vrši završno poliranje uzoraka na tkanini oznake MOL sa DP-pastom krupnoće zrna od 1 μm . Posle završnog poliranja, površine uzoraka moraju biti bez tragova obrade. Zatim se uzorci operu u vodi, potom u alkoholu i na kraju suše na struji toplog vazduha.

U ovom radu uzorci su snimani u nagriženom stanju. Izbor sredstva za nagrivanje zavisi od vrste materijala. Za leguru aluminijuma nakon korišćenja više sredstava za nagrivanje, kao sredstvo za nagrivanje legure 7075 izabran je Nital, (2% rastvor azotne kiseline u alkoholu). Nagrivanje traje od 5 do 15 sekundi. Ovako pripremljeni uzorci (slika 3.28) spremni su za posmatranje ili snimanje na svetlosnom mikroskopu.



Slika 3.28 Izgled pripremljenih uzoraka za metalografsku analizu

Svetlosni mikroskop na kojem je vršeno ispitivanje i snimanje uzoraka prikazan je na slici 3.29. Naziv svetlosnog mikroskopa je ORTHOPLAN, a proizvođač je LEITZ iz SR Nemačke. Svetlosni mikroskop ima tri okulara na raspolaganju (6; 8; 10), kao i šest objektivna (PL 3,2; PL 8; PL 16; PL 32; PL 80; PL 160) od kojih pet može biti istovremeno ugrađeno na sam mikroskop. Kombinovanjem odgovarajućeg objektivna sa odgovarajućim okularom dobija se željeno uvećanje kako je prikazano u tabeli 3.4. U radu su korišćena sledeća uvećanja 20, 50, 100, 200 i 500 puta.

U standardna uvećanja spadaju uvećanja iz poslednje kolone gornje tabele. Maksimalno uvećanje ovog mikroskopa je do 1000 x, dok je moć razlaganja od 0,5 do 1 μm .

Pored posmatranja mikrostrukture na svetlosnom mikroskopu (SM), korišten je i skening elektronski mikroskop (SEM) za posmatranje morfologije korena strugotine (SE mod), mikrostrukture (SE i BSE Composition mod) i kvalitativno određivanje hemijskog sastava prisutnih faza (EDS). Ispitivanje uzoraka je urađeno na SEM-u JEOL „JSM 6460LV“, opremljenim sa EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) sistemom INCA Oxford

3.0. Eksperimentalna istraživanja

Instruments za identifikaciju hemijskog sastava, pri radnom naponu od 20 kV. Ispitivanje je realizovano u Univerzitetском centru za elektronsku mikroskopiju, Novi Sad.



Slika 3.29. Izgled svetlosnog mikroskopa

Tabela 3.4 Raspoloživa uvećanja na svetlosnom mikroskopu

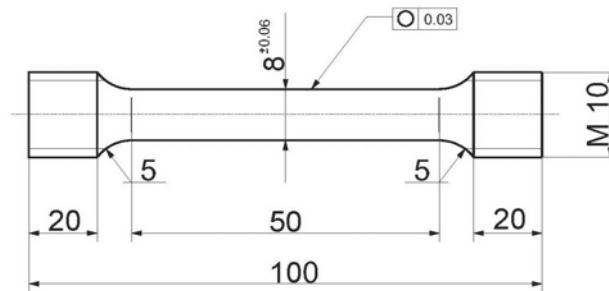
| Okulari Objektivi | 6 (2:1) | 8 (2,5:1) | 10 (3,2:1) |
|----------------------|---------|-----------|------------|
| PL 3,2 | 12 | 15 | 20 |
| PL 8 | 30 | 40 | 50 |
| PL 16 | 60 | 80 | 100 |
| PL 32 | 125 | 160 | 200 |
| PL 80 | 320 | 400 | 500 |
| PL 160 | 640 | 800 | 1000 |

Skening elektronski mikroskop (SEM) radi na principu skeniranja površine uzorka sa snopom elektrona, gde emitovani elektroni sa površine uzorka (sekundarni - SE) ili odbijeni elektroni (povratno rasejani, backscattered - BSE) stvaraju sliku [170]. Kontrast na slici zavisi od intenzitet povratnih elektrona koji je prvenstveno uslovljen geometrijskim izgledom površine. Količina sekundarnih elektrona (SE) je veća, tako da se dobija bolji kontrast i oštija slika, dok količina povratno rasejanih elektrona (BSE) zavisi i od hemijskog sastava materijala, tako da se dobija i kvalitativna informacija o hemijskom sastavu (različiti materijali imaju različit kontrast). Prilikom skeniranja materijala sa snopom elektrona, iz materijala se emituju i karakteristični rentgenski zraci. Merenjem njihove energije i količine (EDX spektroskopija) dobija se podatak o kvantitativnom hemijskom sastavu materijala. EDS analiza se može vršiti u tački, po liniji ili po površini. Treba napomenuti da se rentgenski zraci emituju iz zone interakcije čiji je prečnik oko 2-3 μm (zona interakcije je veća za materijale sa manjom specifičnom gustinom, a manja za teže materijale), što utiče kasnije na interpretiranje rezultata.

Pored mikroskopskih ispitivanja, ispitivane su i mehaničke karakteristike materijala. Izgled epruvete za ispitivanje zatezne čvrstoće je prikazan na slici 3.30.

3.0. Eksperimentalna istraživanja

EPRUVETA ZA ZATEZANJE



Slika 3.30. Izgled i dimenzije epruveta za ispitivanje zatezne čvrstoće

Takođe je izvršeno i ispitivanje tvrdoće po Vickersu i Brinelu, kao i mikrotvrdoće određenih faza u legurama.

Režimi obrade

Režim obrade obuhvata sledeće elemente :

- brzinu rezanja v , odnosno odgovarajući broj obrtaja na mašini n ;
- pomak po zubu s_1 , odnosno odgovarajuću brzinu kretanja stola glodalice s , tako da je: $s = s_1 \cdot z \cdot n$ pri čemu je broj zuba pri obradi $z=1$;
- širina glodanja b .

Vrednosti elemenata režima obrade usvojeni su na osnovu preporuka iz literature i prikazani su u tabeli 3.5.

Izlazne veličine kod ovih eksperimenata bile su: uglovi korena strugotine u zoni rezanja koji su mereni posle metalografske analize, ugao ravni smicanja ϕ , grudni ugao γ , ugao nagiba teksture zrna ψ , kao i proračunati faktor sabijanja strugotine λ (proračunat na osnovu izmerenih vrednosti uglova ϕ i γ).

VARIRANJE FAKTORA

Variranje faktora i kod čeonog i kod obimnog glodanja je vršeno na 5 nivoa vrednosti, tako je da svaka srednja vrednost između dva susedna nivoa geometrijska sredina tih vrednosti. Izabrani nivoi faktora su prikazani u tabeli 3.5. Razlika u planu eksperimenta čeonog u odnosu na obimno glodanje je bila u dubini rezanja (a) koja je varirana kod čeonog glodanja, odnosno širini glodanja (b) koja je varirana kod obimnog glodanja.

Tabla 3.5. Nivoi parametara eksperimenta kod čeonog/obimnog glodanja

| Nivoi (Funkcije pripadnosti) | Brzina rezanja v , m/min | Brzina rezanja v , m/s | Pomak po zubu s_1 , mm/z | Dubina rezanja/ Širina glodanja a / b , mm | Broj obrtaja n , o/min |
|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--|--------------------------------|
| Najveća +1.41 | 351,86 | 5,864 | 0,223 | 2,6 | 1120 |
| Velika +1 | 282,74 | 4,712 | 0,177 | 1,72 | 900 |
| Srednja 0 | 223,05 | 3,717 | 0,141 | 1,14 | 710 |
| Mala -1 | 175,93 | 2,932 | 0,112 | 0,75 | 560 |
| Najmanja -1.41 | 141,37 | 2,356 | 0,089 | 0,5 | 450 |

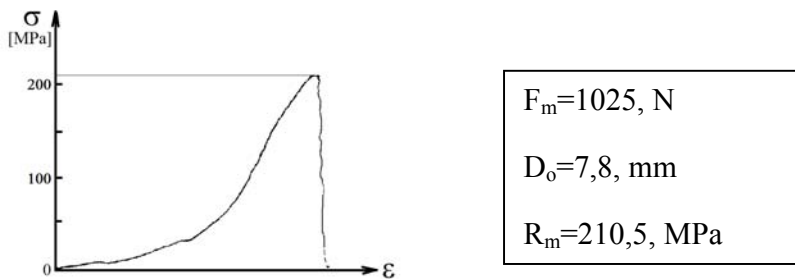
3.3. Rezultati eksperimentalnih ispitivanja

3.3.1. Ispitivanje legure aluminijuma 7075

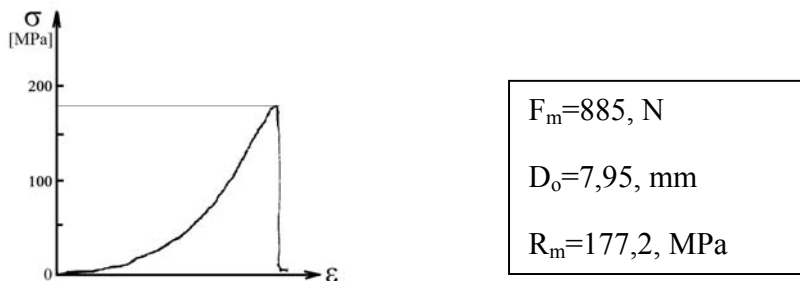
Zatezne karakteristike

Sa aspekta obradivosti legure aluminijuma prvi korak je određivanje mehaničkih osobina konvencionalnim putem livene legure (KL) i legure livene novim SSM načinom livenja.

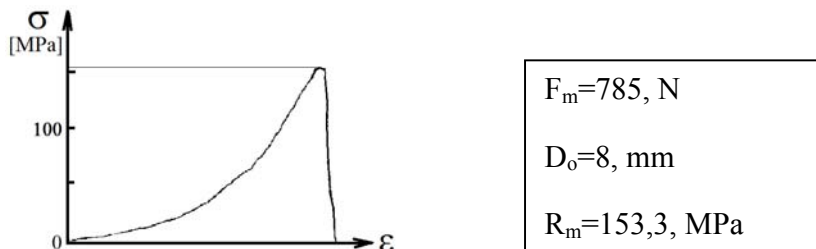
Rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće su dati u nastavku. Sa dijagrama na slikama 3.31., 3.32. i 3.33. vide se zatezne čvrstoće za KL leguru, odnosno sa slika 3.34., 3.35. i 3.36. za SSM leguru. Srednja vrednost dobijena je na osnovu prosečne vrednosti tri merenja, i kod legure KL iznosi $R_{mst}=180,8\pm 23$ MPa, dok kod SSM je viša odnosno i njena vrednost je $R_{mst}=239,6\pm 9,5$ MPa.



Slika 3.31. Zatezna čvrstoća kod KL legure - prvo merenje

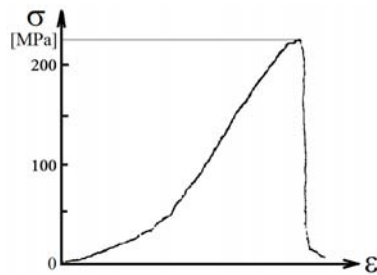


Slika 3.32. Zatezna čvrstoća kod KL legure - drugo merenje



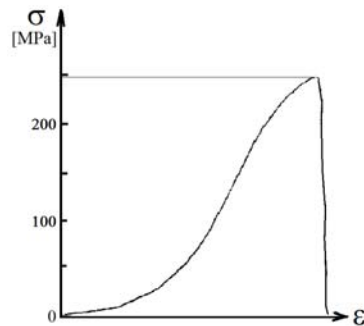
Slika 3.33. Zatezna čvrstoća kod KL legure - treće merenje

3.0. Eksperimentalna istraživanja



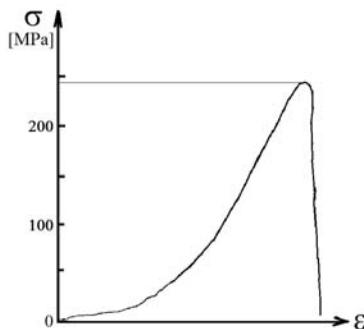
$F_m=1130, \text{ N}$
 $D_o=7,9, \text{ mm}$
 $R_m=226,3, \text{ MPa}$

Slika 3.34. Zatezna čvrstoća kod SSM legure - prvo merenje



$F_m=1240, \text{ N}$
 $D_o=7,9, \text{ mm}$
 $R_m=248,3, \text{ MPa}$

Slika 3.35. Zatezna čvrstoća kod SSM legure - drugo merenje



$F_m=1235, \text{ N}$
 $D_o=7,95, \text{ mm}$
 $R_m=244,2, \text{ MPa}$

Slika 3.36. Zatezna čvrstoća kod SSM legure - treće merenje

Makro tvrdoća

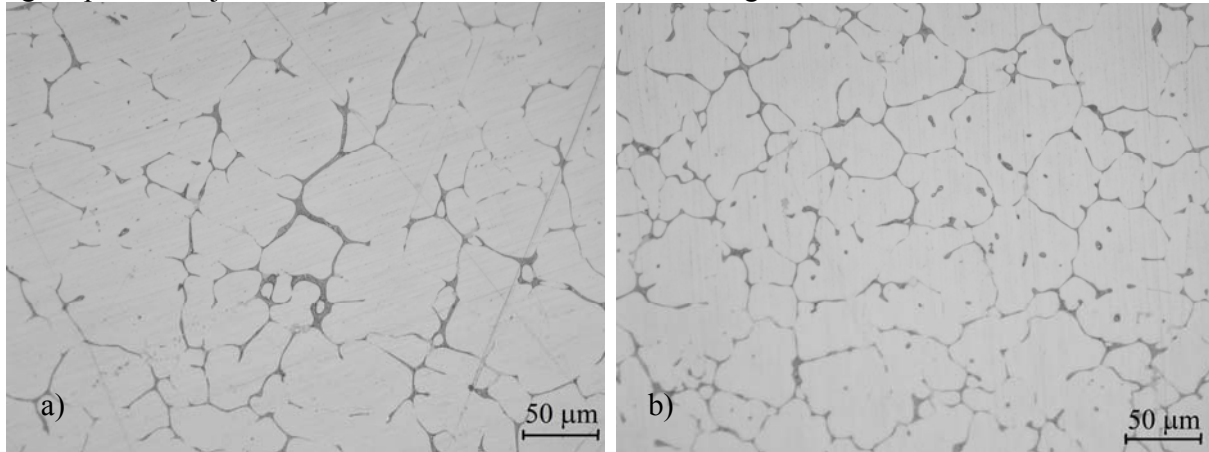
Kod merenja tvrdoće dobijeni su slični rezultati, odnosno SSM legura ima veću tvrdoću u odnosu na KL leguru, tabela 3.6. Tvrdoća je merena po Vickersu i Brinelu.

Tabela 3.6. Tvrdoća po Vickersu i Brinelu kod KL i SSM legure

| | KL | | SSM | |
|------------------|--------------------------|---|--------------------------|---|
| | Tvrdoća po Vickersu HV10 | Tvrdoća po Brinelu HB _{62,5/2,5} | Tvrdoća po Vickersu HV10 | Tvrdoća po Brinelu HB _{62,5/2,5} |
| Merenje I | HV10=128 | HB _{62,5/2,5} =109 | HV10=136 | HB _{62,5/2,5} =120 |
| Merenje II | HV10=120 | HB _{62,5/2,5} =111 | HV10=135 | HB _{62,5/2,5} =115 |
| Merenje III | HV10=124 | HB _{62,5/2,5} =110 | HV10=134 | HB _{62,5/2,5} =118 |
| Srednja vrednost | HV10=124 | HB _{62,5/2,5} =110 | HV10=135 | HB _{62,5/2,5} =118 |

Mikrostruktura

Mikrostruktura dobijena svetlosnim mikroskopom za uzorke konvencionalno livene (KL) legure prikazana je na slici 3.37.a. odnosno uzoraka SSM legure na slici 3.43.b.



Slika 3.37. Mikrostruktura legure aluminijuma a) KL b) SSM legure (SM)

Sa slike 3.37. vidi se da uzorci dobijeni SSM načinom livenja imaju sitnije zrnastu strukturu nego kod KL legura. Takođe se vidi da kod KL uzoraka količina eutektikuma izlučenog po granicama zrna nije ravnomerna.

Mikrotvrdoća

Merenje tvrdoće α čvrstog rastvora i eutektikuma izvršeno je na Tehnološkom fakultetu u Novom Sadu u laboratoriji za materijale. Rezultati tvrdoće su dati u tabeli 3.7. Tvrdoća je merena po Vickersu HV0,01 ($F_g=10g$).

Tabela 3.7. Mikrotvrdoća α čvrstog rastvora i eutektikuma E kod KL i kod SSM legura.

| | Tvrdoća po Vickersu HV0,01 | | | |
|------------------|----------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| | KL | | SSM | |
| | α čvrsti rastvor | E (eutektikum) | α čvrsti rastvor | E (eutektikum) |
| Merenje I | 62,7 | 103 | 68,2 | 117,2 |
| Merenje II | 49,9 | 100 | 54,4 | 96,3 |
| Merenje III | 77,1 (malo E) | 131,4 | 70,2 | 114,6 |
| Merenje IV | 72,5 | 116,6 | 50,9 | 106,4 |
| Merenje V | 63,1 | 121,4 | 57,1 | 128,3 |
| Merenje VI | - | - | 60,0 | 115,0 |
| Srednja vrednost | 65,06 | 114,48 | 60,13 | 112,97 |

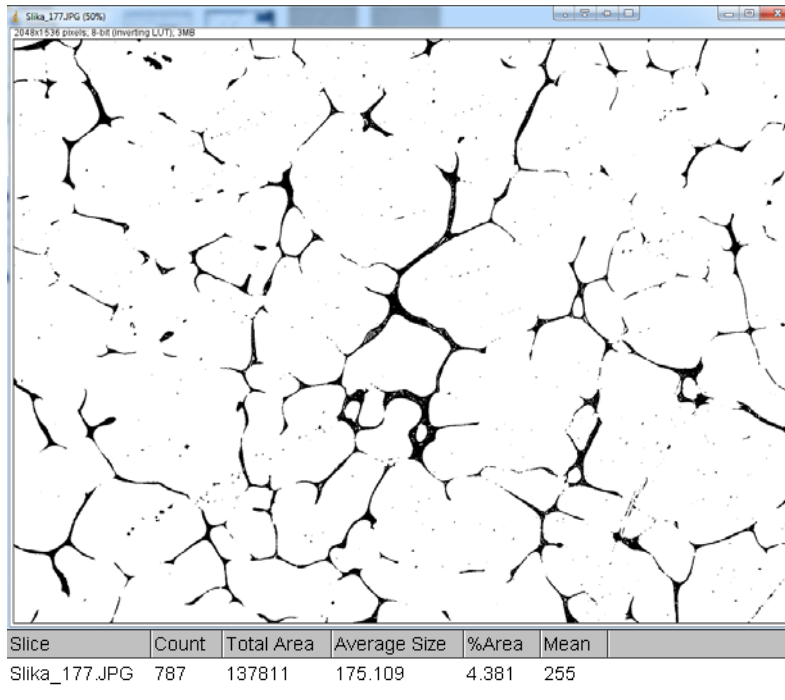
Trag otiska kod α čvrstog rastvora je iznosio 17 μm dok je kod eutektikuma iznosio 13 μm .

Na osnovu merenja mikrotvrdoće može se konstatovati da se tvrdoća same osnove α čvrstog rastvora i kod jednog i kod drugog tipa livenja ne razlikuje. Ista konstatacija je i kod eutektikuma (E). Primećuje se samo da je velika razlika u tvrdoći α čvrstog rastvora i eutektikuma. Eutektikum je približno dva puta tvrdi nego α čvrsti rastvor. Ovakva razlika navodi na potrebu da se ispita količina eutektikuma i kod uzoraka KL legura i SSM legura.

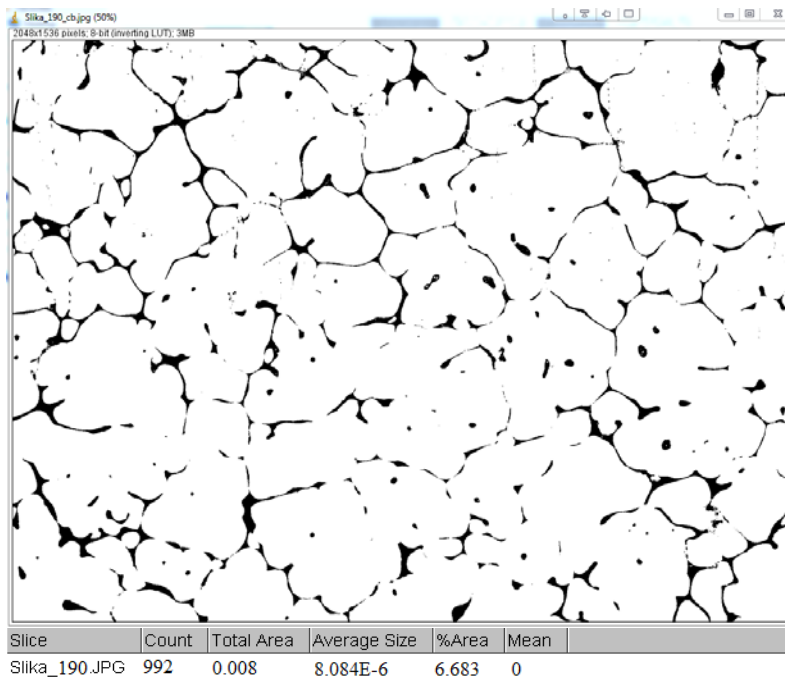
3.0. Eksperimentalna istraživanja

Određivanje procentualnog sadržaja eutektikuma u leguri

Analiza procentualnog sadržaja eutektikuma kod oba tipa livenja izvršena je uz pomoć softverskog programa JMicroVision. Na slikama 3.38. i 3.39., u polju Area% prikazan je procentualni sadržaj eutektikuma za ispitivane uzorake legura aluminijuma.



Slika 3.38. Procentualni sadržaj eutektikuma kod uzoraka KL legura



Slika 3.39. Procentualni sadržaj eutektikuma kod uzoraka SSM legura

3.0. Eksperimentalna istraživanja

Na osnovu procentualnog udela eutektikuma koji za KL legure iznosi 4,381%, a za SSM legure 6,683% vidi se da nov način livenja doprinosi da ispitivani uzorci imaju veći procenat eutektikuma. Veća količina eutektikuma je uticala na povećanje tvrdoće i zatezne čvrstoće.

Kvalitativno određivanje hemijskog sastava - EDS analiza

Analiza faza u materijalu određena je na osnovu EDS analize koja je izvršena na uzorku KL legure, oznake 01L. Slike 3.40., 3.41., 3.42., 3.43. prikazuju različita mesta odnosno pozicije na uzorku, gde je izvršeno kvalitativno i kvantitativno određivanje hemijskog sastava prisutnih faza. EDS analiza je izvršena i na uzorcima SSM legure, oznake 08S i 12S, slike 3.44 i 3.45. Na osnovu EDS rezultata u leguri aluminijuma 7075, kod oba tipa livenja nalaze se sledeće faze:

- osnova α čvrsti rastvor sa hemijskim elementima Al, Zn i Mg
- lamelarni eutektikum E sa hemijskim elementima Al, Zn, Cu i Mg
- intermetalna siva faza sa hemijskim elementima Al, Fe, Cu i Zn.
- intermetalna crna faza sa hemijskim elementima Al, Zn, Mg i Cu

Hemijski elementi su poređani po količinskom sastavu za određenu fazu.

U literaturi su takođe pronađene slične faze. Tako su u radu [171] dijagnostikovane sledeće faze: $\alpha(\text{Al})$, eutektikum($\alpha(\text{Al}) + \text{Mg}(\text{Al}, \text{Cu}, \text{Zn})_2$) i $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$. Autori u radu [172] definišu sledeće faze koje legure ovog tipa imaju. To su pored $\alpha(\text{Al})$ i faze $\eta(\text{MgZn}_2)$, $\text{T}(\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3)$ i $\text{S}(\text{Al}_2\text{CuMg})$.

Ako se uporede faze koje su odedene u leguri iz eksperimenta konstatuje se da je eutektikum sastavljen iz α čvrstog rastvora i S faze. Faza T se takođe uzima kao referentna faza za ovaj tip legure, ona je crne boje sa glavnim hemijskim elementima zinkom (Zn) i magnezijumom (Mg), uz prisustvo bakra (Cu) u maloj kolicini. Legura nad kojom je izvršena spektralna analiza sadrži još jednu fazu koja se oslikava sivom bojom i gde je glavni hemijski element pored aluminijuma i železo (Fe). Pored železa prisutni su i u malim količinama bakar (Cu) i cink (Zn).

Ovakve faze sa malim odstupanjima u hemijskom sastavu su odredili i autori radova [173-177]. Oni su takođe koristili EDS analizu na uzorcima, na kojima je tokom sprovedene hemijske analize utvrđeno prisustvo sledećih elementa: Al, Cu, Zn, Mg i Fe.

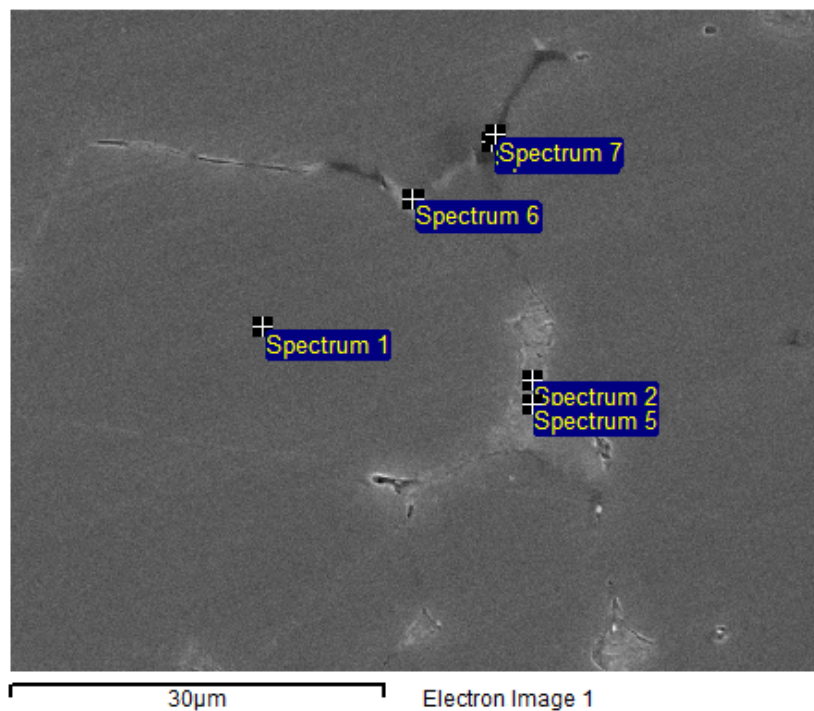
Ako pogledamo EDS analizu na slikama koje prikazuju hemijski sastav određenih spektara može se reći sledeće:

- Procenat hemijskih elemenata u α čvrstom rastvoru se kreće za:
 - Al u rasponu od 90% do 93%
 - Zn u rasponu od 4,9% do 6,3%
 - Mg u rasponu od 1,58% do 2,11% i
 - Cu u rasponu od 0% do 1,48%
- Procenat hemijskih elemenata koji je određen u lamelarnom eutektikumu E, se najbolje vidi sa slike 3.49., gde je u samom eutektikumu izvršena tri puta, na različitim mestima, EDS analiza. Na osnovu ovih spektara odeden je sledeći procentualni sastav hemijskih elemenata:
 - Al u rasponu od 49% do 87%
 - Zn u rasponu od 5,8% do 23,5%
 - Cu u rasponu od 2,5% do 16,2% i
 - Mg u rasponu od 1,7% do 3%

Kao reprezentativni spektar se može uzeti spektar 6, koji je prikazan na slici 4.48. Hemijski sastav eutektikuma određen ovim spektrom iznosi: Al 52,4%, Zn 23,2%, Cu 14,2% i Mg 10%.

3.0. Eksperimentalna istraživanja

- Procenat hemijskih elemenata u intermetalnoj sivoj fazi se kreće za:
Al u rasponu od 64,3% do 68,7%
Fe u rasponu od 22% do 27%
Cu u rasponu od 5,1% do 6,6%
Zn u rasponu od 2,7% do 3,3% i
Mg u rasponu od 0% do 1,23%
- Procenat hemijskih elemenata u intermetalnoj crnoj fazi se kreće za:
Al u rasponu od 87,3% do 89,8%
Zn u rasponu od 5,3% do 7,9%
Mg u rasponu od 2,4% do 4,1% i
Cu u rasponu od 0% do 2,2%

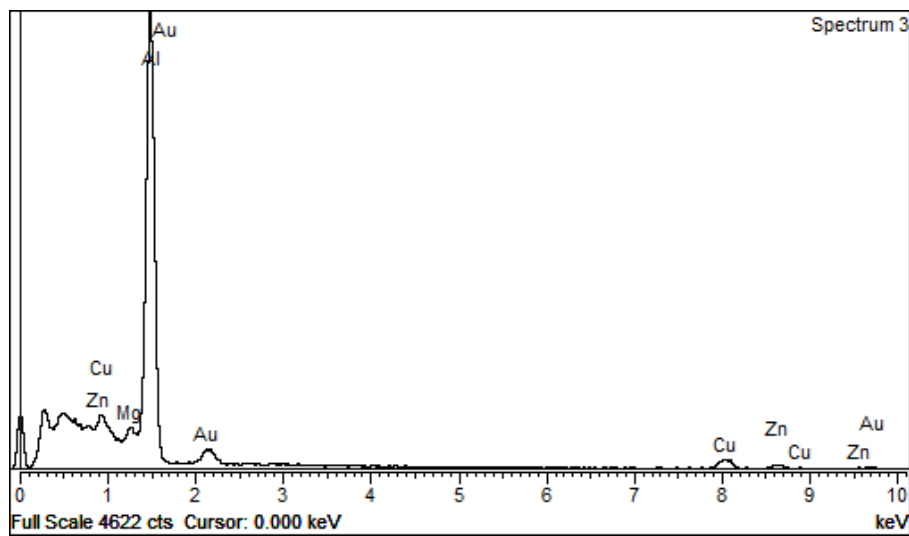
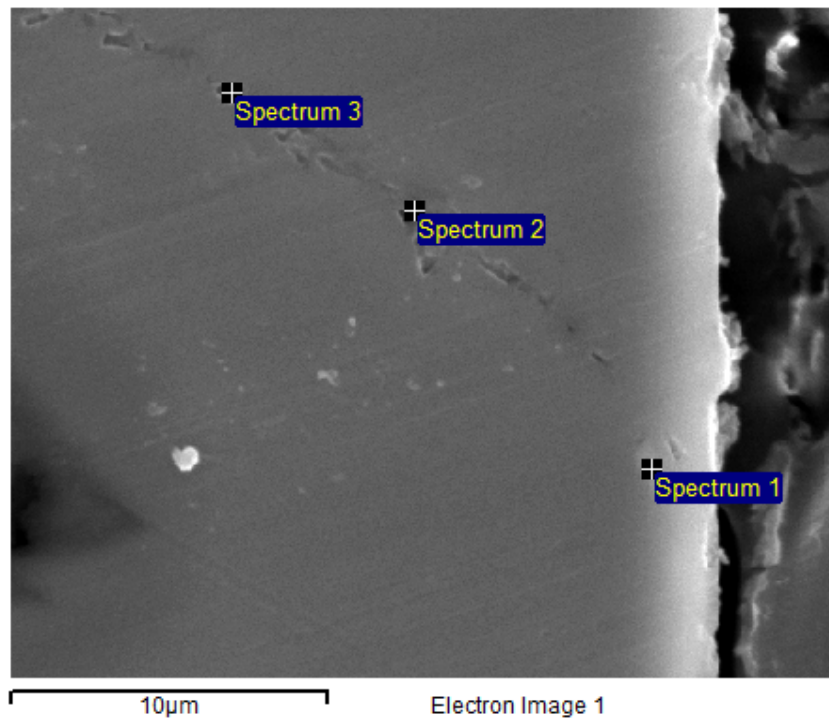


Tip legure : Al Cu Zn Mg Fe

| Spectrum | In stats. | Mg | Al | Fe | Cu | Zn | Total |
|------------|-----------|------|-------|------|-------|------|--------|
| Spectrum 1 | Yes | 1.58 | 93.48 | | | 4.94 | 100.00 |
| Spectrum 2 | Yes | 2.40 | 88.74 | | 2.56 | 6.30 | 100.00 |
| Spectrum 3 | Yes | 1.75 | 84.55 | 5.80 | 2.10 | 5.80 | 100.00 |
| Spectrum 4 | Yes | 2.18 | 91.07 | | 0.98 | 5.77 | 100.00 |
| Spectrum 5 | Yes | 3.35 | 75.55 | | 12.26 | 8.85 | 100.00 |
| Spectrum 6 | Yes | 1.75 | 85.98 | 5.14 | 2.17 | 4.96 | 100.00 |
| Spectrum 7 | Yes | 1.83 | 91.63 | | | 6.54 | 100.00 |
| Max. | | 3.35 | 93.48 | 5.80 | 12.26 | 8.85 | |
| Min. | | 1.58 | 75.55 | 0.00 | 0.00 | 4.94 | |

Slika 3.40. Uzorak KL legure oznake 01L - pozicija 1

3.0. Eksperimentalna istraživanja

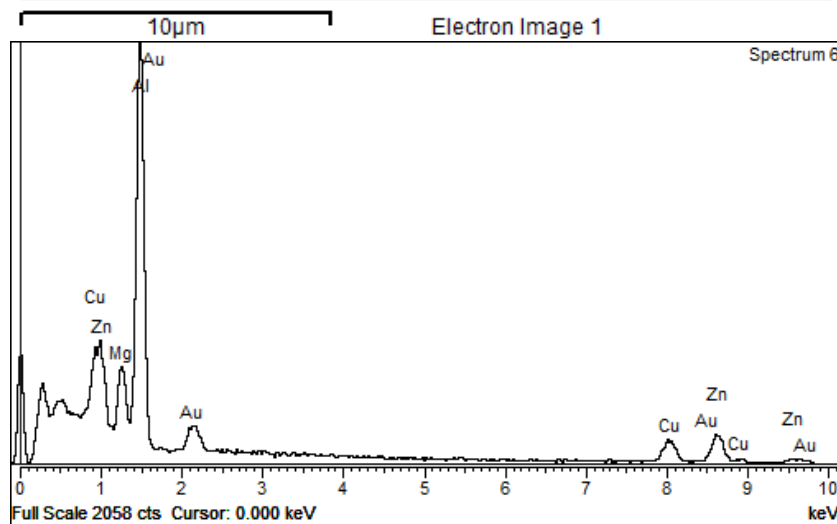
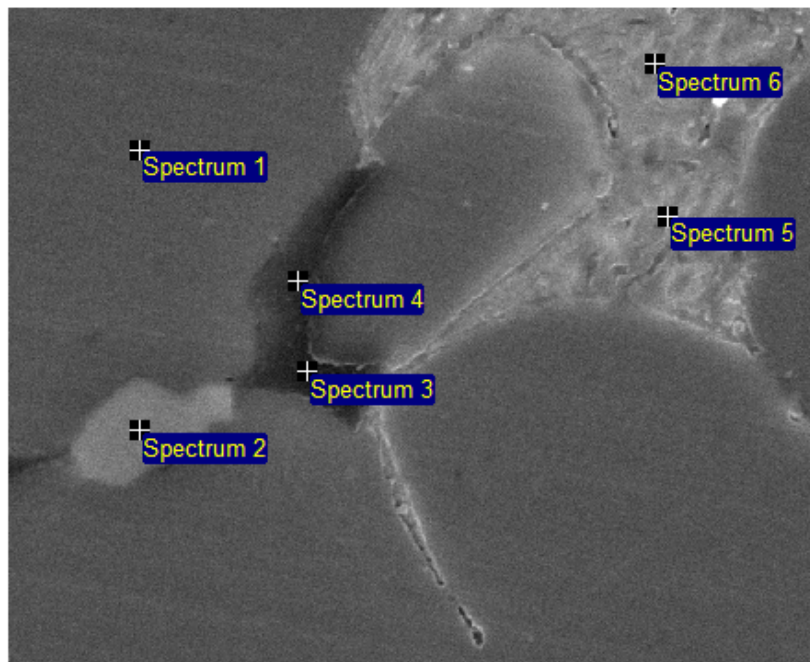


Tip legure : Al Cu Zn Mg Fe

| Spectrum | In stats. | Mg | Al | Fe | Cu | Zn | Total |
|------------|-----------|------|-------|------|-------|------|--------|
| Spectrum 1 | Yes | 1.75 | 86.11 | 5.22 | 2.97 | 3.95 | 100.00 |
| Spectrum 2 | Yes | 3.00 | 71.02 | | 19.30 | 6.68 | 100.00 |
| Spectrum 3 | Yes | 2.53 | 78.62 | | 12.92 | 5.94 | 100.00 |
| Max. | | 3.00 | 86.11 | 5.22 | 19.30 | 6.68 | |
| Min. | | 1.75 | 71.02 | 0.00 | 2.97 | 3.95 | |

Slika 3.41. Uzorak KL legure oznake 01L - pozicija 2

3.0. Eksperimentalna istraživanja

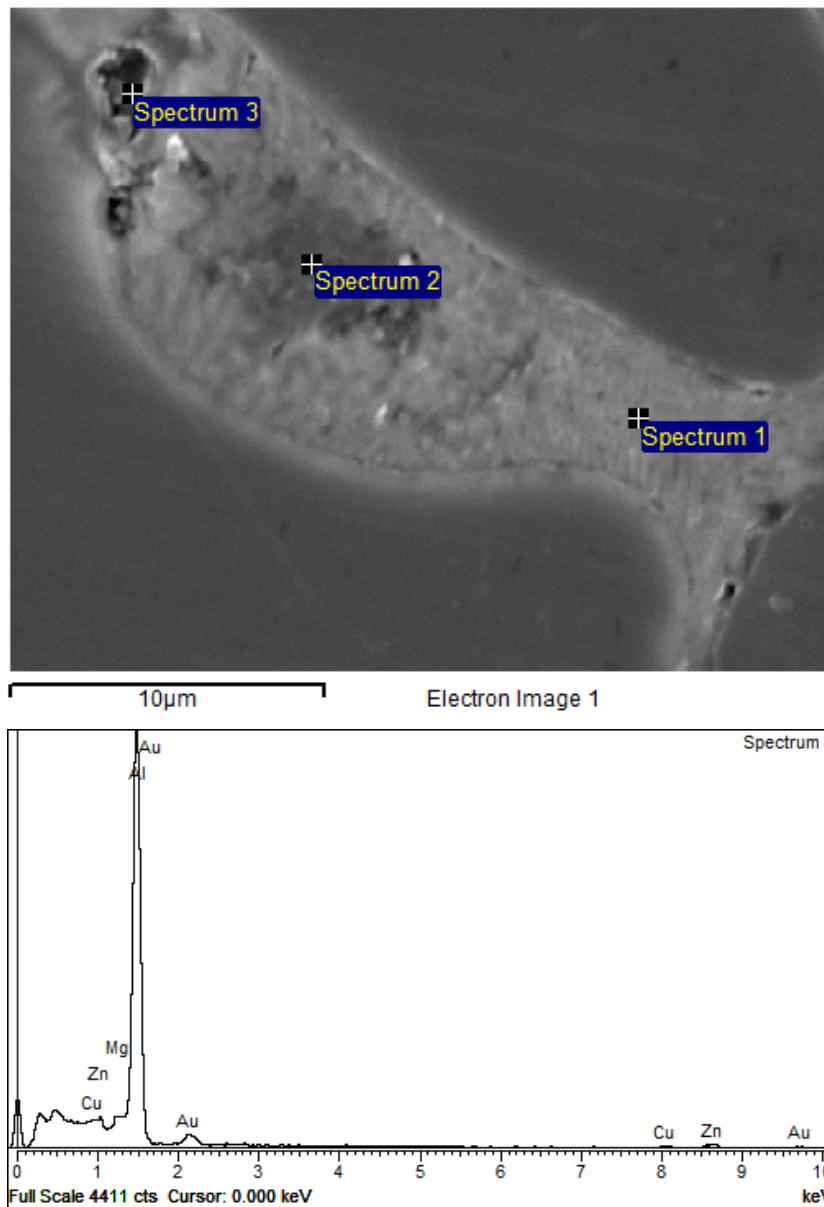


Tip legure : Al Cu Zn Mg Fe

| Spectrum | In stats. | Mg | Al | Fe | Cu | Zn | Total |
|------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Spectrum 1 | Yes | 1.38 | 92.28 | | 1.16 | 5.19 | 100.00 |
| Spectrum 2 | Yes | | 67.99 | 22.05 | 6.63 | 3.34 | 100.00 |
| Spectrum 3 | Yes | 2.65 | 89.68 | | 2.21 | 5.46 | 100.00 |
| Spectrum 4 | Yes | 2.44 | 87.39 | | 2.25 | 7.92 | 100.00 |
| Spectrum 5 | Yes | 8.08 | 54.00 | | 15.73 | 22.19 | 100.00 |
| Spectrum 6 | Yes | 10.04 | 52.46 | | 14.25 | 23.25 | 100.00 |
| Max. | | 10.04 | 92.28 | 22.05 | 15.73 | 23.25 | |
| Min. | | 0.00 | 52.46 | 0.00 | 1.16 | 3.34 | |

Slika 3.42. Uzorak KL legure oznake 01L - pozicija 3

3.0. Eksperimentalna istraživanja

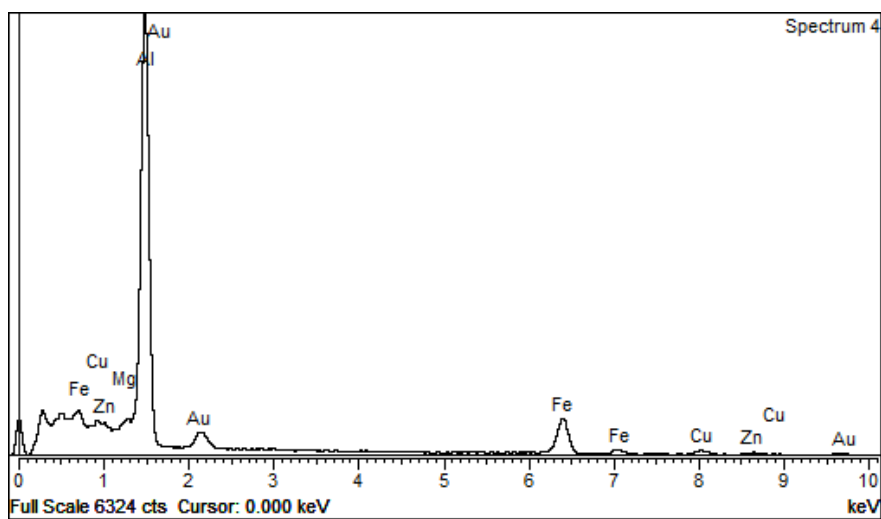
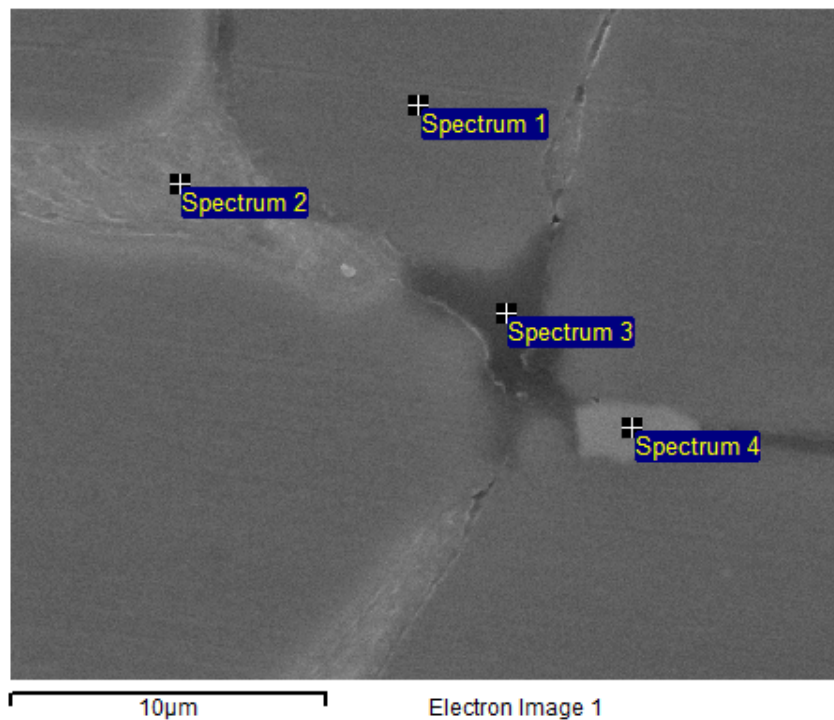


Tip legure : Al Cu Zn Mg Fe

| Spectrum | In stats. | Mg | Al | Cu | Zn | Total |
|----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Spectrum 1 | Yes | 10.96 | 49.33 | 16.20 | 23.51 | 100.00 |
| Spectrum 2 | Yes | 2.36 | 84.52 | 7.25 | 5.87 | 100.00 |
| Spectrum 3 | Yes | 2.21 | 87.97 | 2.53 | 7.28 | 100.00 |
| Mean | | 5.18 | 73.94 | 8.66 | 12.22 | 100.00 |
| Std. deviation | | 5.01 | 21.38 | 6.94 | 9.80 | |
| Max. | | 10.96 | 87.97 | 16.20 | 23.51 | |
| Min. | | 2.21 | 49.33 | 2.53 | 5.87 | |

Slika 3.43. Uzorak KL legure oznake 01L - pozicija 4

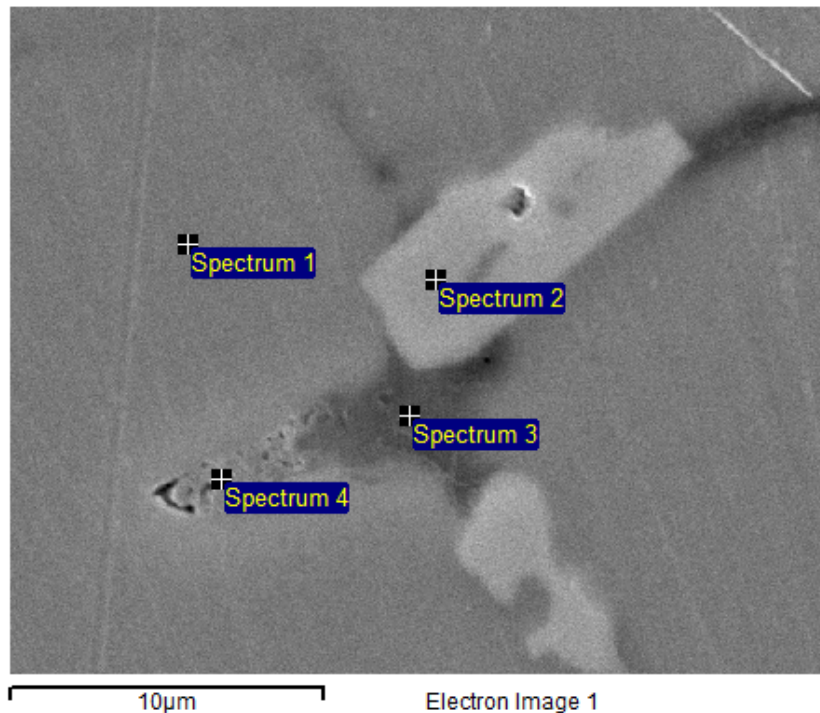
3.0. Eksperimentalna istraživanja



Tip legure : Al Cu Zn Mg Fe

| Spectrum | In stats. | Mg | Al | Fe | Cu | Zn | Total |
|------------|-----------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Spectrum 1 | Yes | 2.05 | 90.14 | | 1.48 | 6.33 | 100.00 |
| Spectrum 2 | Yes | 8.87 | 50.18 | | 21.16 | 19.80 | 100.00 |
| Spectrum 3 | Yes | 4.07 | 88.72 | | | 7.21 | 100.00 |
| Spectrum 4 | Yes | 1.23 | 68.73 | 22.25 | 5.09 | 2.70 | 100.00 |
| Max. | | 8.87 | 90.14 | 22.25 | 21.16 | 19.80 | |
| Min. | | 1.23 | 50.18 | 0.00 | 0.00 | 2.70 | |

Slika 3.44. Uzorak SSM legure oznake 08S - pozicija 1



Tip legure : Al Cu Zn Mg Fe

| Spectrum | In stats. | Mg | Al | Fe | Cu | Zn | Total |
|------------|-----------|------|-------|-------|-------|------|--------|
| Spectrum 1 | Yes | 2.11 | 92.38 | | | 5.51 | 100.00 |
| Spectrum 2 | Yes | | 64.38 | 26.96 | 5.78 | 2.87 | 100.00 |
| Spectrum 3 | Yes | 1.61 | 89.78 | | 3.31 | 5.30 | 100.00 |
| Spectrum 4 | Yes | 1.97 | 81.99 | | 12.41 | 3.64 | 100.00 |
| Max. | | 2.11 | 92.38 | 26.96 | 12.41 | 5.51 | |
| Min. | | 0.00 | 64.38 | 0.00 | 0.00 | 2.87 | |

Slika 3.45. Uzorak SSM legure oznake 12S - pozicija 1

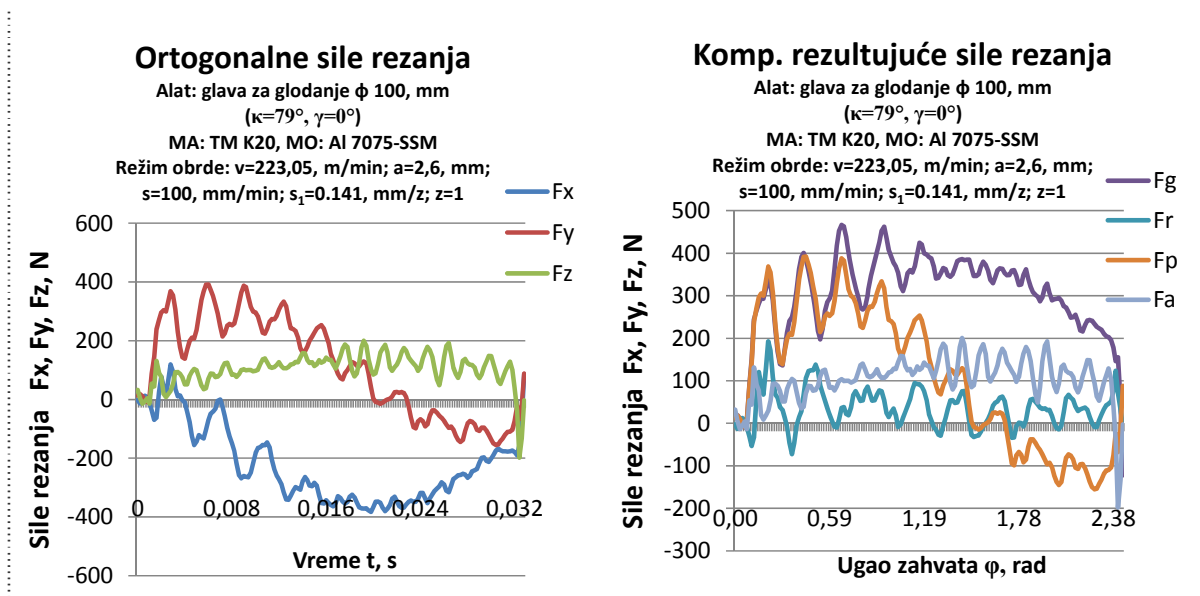
3.3.2. Eksperimentalno ispitivanje karakteristika obradivosti

Prema predhodno opisanoj metodologiji i na osnovu definisanih uslova obrade, izvršeno je merenje karakteristika obradivosti materijala pri obradi legure aluminijuma livene na dva načina (KL i SSM) i to: sila rezanja, temperature u zoni rezanja, hrapavosti obrađene površine i faktora sabijanja korena strugotine.

Prevođenje ortogonalnih sila rezanja (F_x , F_y , F_z) koje su izmerene na mernom uređaju u sile F_g , F_r , F_p i F_a je izvršeno po izvedenim jednačinama (2.7.), (2.8.), (2.9.) i (2.11.) opisnim u poglavlju 2.0. Na slici 3.46. dat je primer dijagrama koji prikazuju ortogonalne sile izmerene posledstvom instalisane opreme za merenje, kao i komponente rezultujućih sila dobijene na osnovu jednačina predhodno spomenutih jednačina.

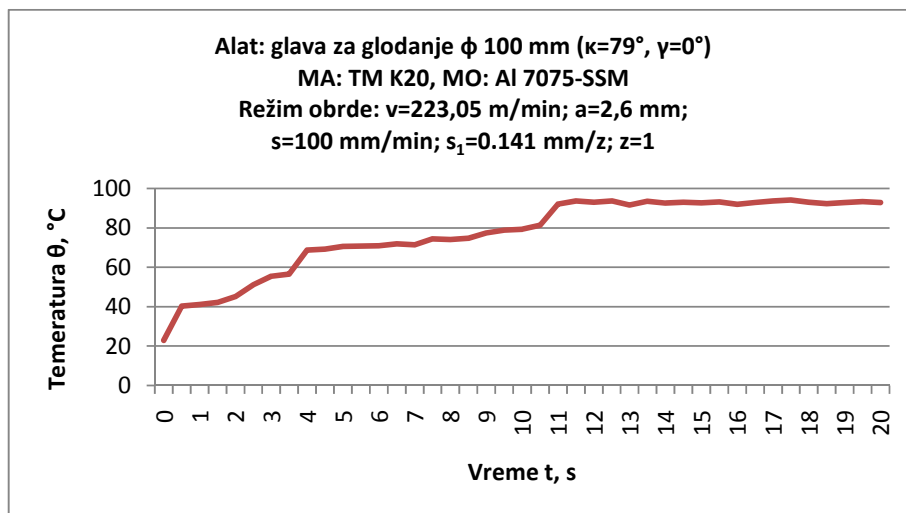
Zbog obimnosti eksperimentalnih rezultata pregled izmerenih sila u funkciji vremena, odnosno ugla φ dat je u prilogu I. Pored toga rezultati maksimalnih sila rezanja očitanih sa dijagrama dati su u zbirnoj tabeli prikazanoj na kraju ovog poglavlja.

3.0. Eksperimentalna istraživanja



Slika 3.46. Prevođenje ortogonalnih u komponente rezultujućih sila rezanja

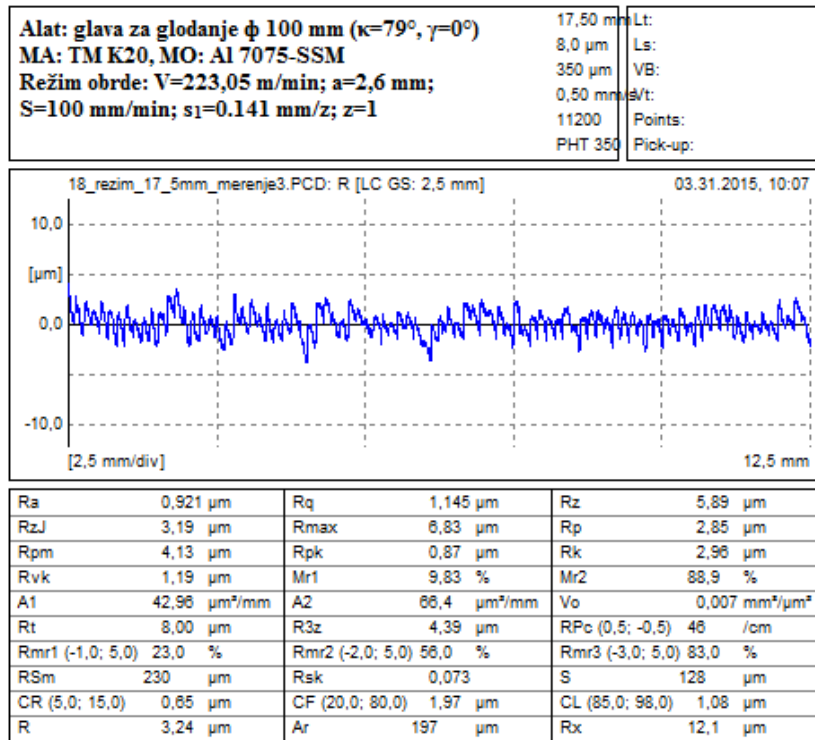
Pri merenju temperature u zoni rezanja dobijeni su zapisi u funkciji vremena. Na slici 3.47. dat je primer dijagrama koji prikazuje rast temperature izmerene posledstvom instalisane opreme za merenje. Konstantnost temperature je postignuta nakon 15 sekundi, shodno tome merenja nisu izvođena duže od 20 sekundi. Zbog obimnosti eksperimentalnih rezultata pregled izmerenih temperatura se samo tabelarno prikazuje i ti rezultati su prikazani u nastavku.



Slika 3.47. Dijagram rasta temperature pri eksperimentalnom merenju

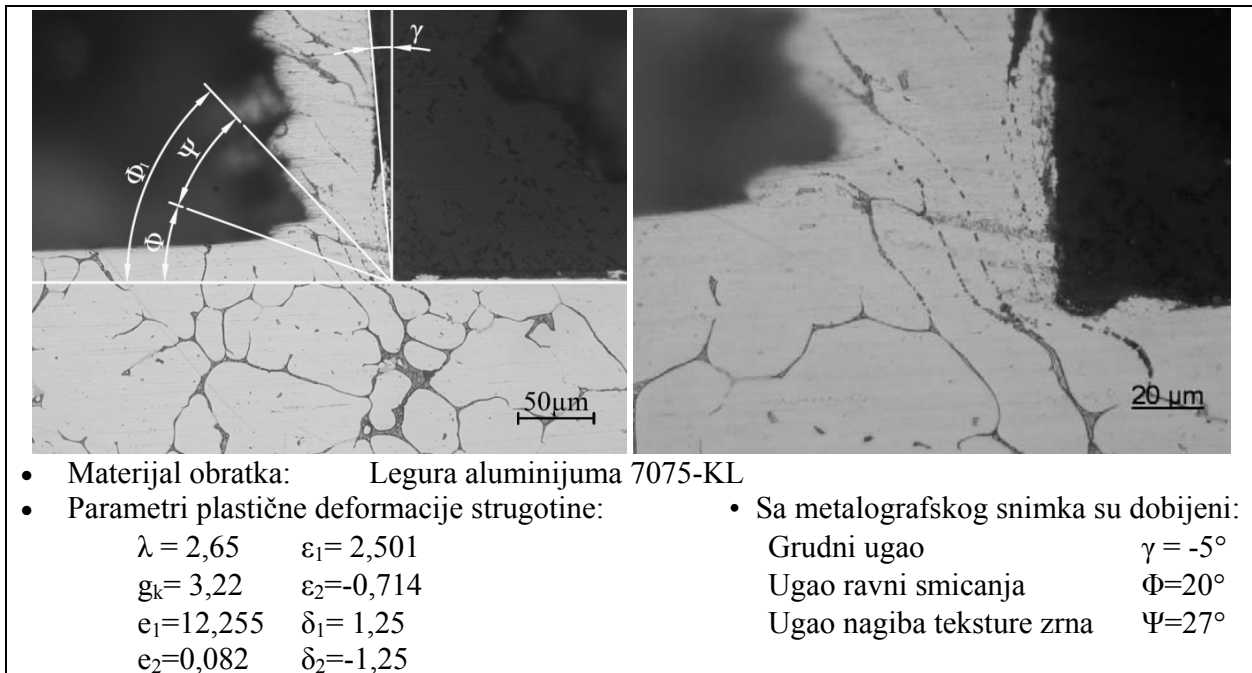
Pri mernju hrapavosti obrađene površine dobijeni su zapisi preko 20 parametara hrapavosti, od kojih su u ovom istraživanju korišćeni rezultati za aritmetičku hrapavost (R_a) i maksimalnu visinu neravnina (R_{max}). Na slici 3.48. dat je primer izmerene hrapavosti sa profilom obrađene površine, dobijen posredstvom uređaja za merenje hrapavosti firme "MarSurf". Zbog obimnosti eksperimentalnih rezultata pregled izmerenih hrapavosti obrađene površine se samo tabelarno prikazuje, i ti rezultati se takođe prikazuju u zbirnoj tabeli, koja sledi u nastavku.

3.0. Eksperimentalna istraživanja



Slika 3.48. Rezultati izmerene hrapavosti sa profilom obrađene površine

U nastavku se daje i mikroskopski snimak zone rezanja kod jednog uzorka, slika 3.49. Zbog obimnosti eksperimentalnih rezultata pregled veličina kojim se definiše koren strugotine, odnosno faktor sabijanja strugotine, dat je u prilogu II. Takođe u zbirnoj tabeli koja sledi su prikazani rezultati za faktor sabijanja strugotine λ i ugao nagiba teksture zrna Ψ .



Slika 3.49. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 14.

3.0. Eksperimentalna istraživanja

U nastavku su prikazane 3 zbirne tabele sa kompletnim pregledom svih rezultata eksperimenata za KL legure i isto tako 3 tabele sa rezultatima dobijenim za leguru livenu novim SSM procesom. Tabele 3.8. i 3.9. služe za dalju obradu podataka pri izradi modela na bazi faktornog plana eksperimenata.

Tabele 3.10 i 3.11. prikazuju rezultate eksperimenata koji se vode kao dodatni eksperimenti i oni služe za proveru tačnosti odgovarajućih modela čija izrada se prikazuje u nastavku.

Na kraju su date i tabele 3.12 i 3.13 sa rezultatima koji služe za optimizaciju parametara Tagučići metodom, odnosno ANOVA analizom. Kod tabela 3.12 i 3.13 prikazani su rezultati samo jednog merenja (prvog), ostala dva koja su potrebna za optimizaciju parametara biće prikazana u poglavlju 5.0. Treba napomenuti da tabele 3.12 i 3.13 takođe sadrže u svojoj konstrukciji i eksperimente (redovi 2, 4 i 5) koji su već zastupljeni u tabelama za obradu pomoću faktornog plana eksperimenta, stoga se rezultati za te eksperimente preuzimaju iz tabela 3.8. i 3.9.

Tabela 3.8. Zbirni eksperimentalni rezultati potrebni za model faktornog plana eksperimenata

| Redni broj | Faktor | | | KL legura aluminijuma | | | | | | |
|------------|--------|-----------------------|-----------|-----------------------|--------------------|-------|---------------------|-----------------------|-----------------|------|
| | | | | Čeono glodanje | | | | | Obimno glodanje | |
| | v, m/s | s ₁ , mm/z | a / b, mm | F _g , N | F _p , N | θ, C° | R _a , μm | R _{max} , μm | λ | ψ, ° |
| 1 | 2,93 | 0,112 | 0,75 | 113 | 92 | 46 | 1,074 | 8,39 | 2,44 | 21 |
| 2 | 4,71 | 0,112 | 0,75 | 108 | 87 | 52 | 1,081 | 7,62 | 2,87 | 6 |
| 3 | 2,93 | 0,177 | 0,75 | 148 | 120 | 53 | 1,743 | 11,4 | 1,98 | 6 |
| 4 | 4,71 | 0,177 | 0,75 | 160 | 131 | 56 | 1,645 | 12,3 | 1,57 | 4 |
| 5 | 2,93 | 0,112 | 1,72 | 251 | 219 | 60 | 1,058 | 7,49 | 2,38 | 15 |
| 6 | 4,71 | 0,112 | 1,72 | 238 | 138 | 67 | 1,023 | 6,79 | 3,25 | 11 |
| 7 | 2,93 | 0,177 | 1,72 | 351 | 281 | 70 | 1,898 | 11,7 | 1,72 | 4 |
| 8 | 4,71 | 0,177 | 1,72 | 342 | 273 | 77 | 1,734 | 10,4 | 2,89 | 20 |
| 9 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 193 | 163 | 61 | 1,214 | 8,01 | 2,87 | 6 |
| 10 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 204 | 170 | 59 | 1,236 | 8,06 | 3,02 | 4 |
| 11 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 204 | 165 | 59 | 1,227 | 8,26 | 3,37 | 8 |
| 12 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 204 | 165 | 58 | 1,175 | 7,73 | 3,13 | 26 |
| 13 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 200 | 153 | 55 | 1,132 | 6,84 | 3,24 | 11 |
| 14 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 210 | 168 | 64 | 1,253 | 8,09 | 2,65 | 27 |
| 15 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 161 | 132 | 56 | 0,999 | 6,76 | 2,04 | 19 |
| 16 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 260 | 189 | 66 | 2,556 | 13,8 | 2,2 | 8 |
| 17 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 102 | 85 | 46 | 1,245 | 7,89 | 2,09 | 11 |
| 18 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 392 | 360 | 77 | 1,237 | 7,84 | 2,34 | 13 |
| 19 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 196 | 160 | 53 | 1,134 | 7,33 | 2,92 | 20 |
| 20 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 202 | 165 | 66 | 1,235 | 7,62 | 2,28 | 13 |
| 21 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 152 | 130 | 54 | 0,991 | 6,41 | 2,02 | 10 |
| 22 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 264 | 216 | 66 | 2,489 | 13,8 | 1,89 | 21 |
| 23 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 100 | 94 | 48 | 1,239 | 7,78 | 2,34 | 9 |
| 24 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 410 | 327 | 76 | 1,221 | 7,92 | 2 | 8 |

3.0. Eksperimentalna istraživanja

Tabela 3.9. Zbirni eksperimentalni rezultati potrebni za model faktornog plana eksperimenata

| Redni broj | Faktor | | | SSM legura aluminijuma | | | | | | |
|------------|--------|-----------------------|-----------|------------------------|--------------------|-------|---------------------|-----------------------|-----------------|------|
| | | | | Čeono glodanje | | | | | Obimno glodanje | |
| | v, m/s | s ₁ , mm/z | a / b, mm | F _g , N | F _p , N | θ, C° | R _a , μm | R _{max} , μm | λ | ψ, ° |
| 1 | 2,93 | 0,112 | 0,75 | 119 | 106 | 54 | 0,657 | 5,07 | 2,75 | 22 |
| 2 | 4,71 | 0,112 | 0,75 | 124 | 93 | 59 | 0,666 | 4,51 | 4,65 | 30 |
| 3 | 2,93 | 0,177 | 0,75 | 163 | 134 | 60 | 0,909 | 6,89 | 3,04 | 19 |
| 4 | 4,71 | 0,177 | 0,75 | 186 | 135 | 67 | 0,815 | 7,97 | 2,46 | 16 |
| 5 | 2,93 | 0,112 | 1,72 | 255 | 215 | 66 | 0,765 | 5,63 | 5,69 | 18 |
| 6 | 4,71 | 0,112 | 1,72 | 255 | 225 | 85 | 0,472 | 4,12 | 2,04 | 20 |
| 7 | 2,93 | 0,177 | 1,72 | 357 | 289 | 77 | 0,869 | 6,63 | 2,49 | 19 |
| 8 | 4,71 | 0,177 | 1,72 | 366 | 301 | 87 | 0,632 | 5,78 | 1,84 | 7 |
| 9 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 230 | 207 | 57 | 0,621 | 5,16 | 3,31 | 22 |
| 10 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 218 | 170 | 62 | 0,553 | 4,91 | 2 | 11 |
| 11 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 230 | 163 | 64 | 0,643 | 5,02 | 2,55 | 8 |
| 12 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 208 | 165 | 62 | 0,604 | 6,3 | 2,71 | 19 |
| 13 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 223 | 163 | 59 | 0,758 | 5,76 | 4,01 | 24 |
| 14 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 227 | 194 | 71 | 0,482 | 4,3 | 2,75 | 19 |
| 15 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 180 | 147 | 60 | 0,568 | 3,34 | 9,1 | 16 |
| 16 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 269 | 244 | 79 | 1,07 | 7,77 | 3 | 17 |
| 17 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 115 | 90 | 53 | 0,818 | 5,31 | 9,4 | 13 |
| 18 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 466 | 392 | 93 | 0,921 | 6,83 | 2,61 | 20 |
| 19 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 227 | 152 | 61 | 0,774 | 6,11 | 5,09 | 13 |
| 20 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 221 | 171 | 75 | 0,528 | 4,63 | 2,66 | 20 |
| 21 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 170 | 133 | 61 | 0,68 | 3,45 | 10,64 | 15 |
| 22 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 282 | 233 | 80 | 1,026 | 7,47 | 2,71 | 23 |
| 23 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 104 | 94 | 51 | 0,775 | 5,66 | 6,62 | 24 |
| 24 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 423 | 342 | 90 | 1,093 | 6,3 | 3,15 | 25 |

Tabela 3.10. Dodatni zbirni eksperimentalni rezultati potrebni za verifikaciju modela

| Redni broj | Faktor | | | KL legura aluminijuma | | | | | |
|------------|--------|-----------------------|-----------|-----------------------|--------------------|-------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| | | | | Čeono glodanje | | | | | Obimno glodanje |
| | v, m/s | s ₁ , mm/z | a / b, mm | F _g , N | F _p , N | θ, C° | R _a , μm | R _{max} , μm | λ |
| 1 | 3,71 | 0,141 | 0,75 | 154 | 115 | 51 | 1,222 | 8,29 | 2,59 |
| 2 | 3,71 | 0,141 | 1,72 | 261 | 237 | 69 | 1,28 | 7,83 | 2,02 |
| 3 | 3,71 | 0,112 | 1,14 | 181 | 121 | 55 | 1,037 | 6,6 | 2,87 |
| 4 | 3,71 | 0,177 | 1,14 | 238 | 173 | 62 | 1,583 | 12,3 | 1,9 |
| 5 | 2,93 | 0,141 | 1,14 | 210 | 141 | 57 | 1,263 | 8,08 | 2,73 |
| 6 | 4,71 | 0,141 | 1,14 | 221 | 179 | 60 | 1,734 | 8,44 | 2,28 |

3.0. Eksperimentalna istraživanja

Tabela 3.11. Dodatni zbirni eksperimentalni rezultati potrebni za verifikaciju modela

| Redni broj | Faktor | | | SSM legura aluminijuma | | | | | |
|------------|--------|-----------------------|-----------|------------------------|--------------------|-------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| | | | | Čeono glodanje | | | | | Obimno glodanje |
| | v, m/s | s ₁ , mm/z | a / b, mm | F _g , N | F _p , N | θ, C° | R _a , μm | R _{max} , μm | λ |
| 1 | 3,71 | 0,141 | 0,75 | 149 | 110 | 60 | 0,737 | 7,6 | 2,69 |
| 2 | 3,71 | 0,141 | 1,72 | 308 | 268 | 77 | 0,839 | 5,07 | 2,71 |
| 3 | 3,71 | 0,112 | 1,14 | 190 | 141 | 61 | 0,605 | 4,63 | 3,68 |
| 4 | 3,71 | 0,177 | 1,14 | 223 | 207 | 70 | 0,709 | 5,5 | 2,81 |
| 5 | 2,93 | 0,141 | 1,14 | 237 | 182 | 61 | 1,075 | 7,33 | 3,49 |
| 6 | 4,71 | 0,141 | 1,14 | 227 | 182 | 71 | 0,509 | 3,97 | 3,66 |

Tabela 3.12. Zbirni eksperimentalni rezultati potrebni za optimizaciju parametara

| Redni broj | Faktor | | | KL legura aluminijuma | | | | | |
|------------|--------|-----------------------|-----------|-----------------------|--------------------|-------|---------------------|-----------------------|--|
| | | | | Čeono glodanje | | | | | |
| | v, m/s | s ₁ , mm/z | a / b, mm | F _g , N | F _p , N | θ, C° | R _a , μm | R _{max} , μm | |
| 1 | 2,35 | 0,089 | 0,5 | 85 | 64 | 51 | 0,915 | 7,06 | |
| 2 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 196 | 153 | 54 | 1,132 | 6,84 | |
| 3 | 2,35 | 0,223 | 2,6 | 564 | 462 | 108 | 1,705 | 10,5 | |
| 4 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 152 | 132 | 55 | 0,991 | 6,41 | |
| 5 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 392 | 327 | 77 | 1,221 | 7,84 | |
| 6 | 3,71 | 0,223 | 0,5 | 128 | 96 | 66 | 2,023 | 12,2 | |
| 7 | 5,86 | 0,089 | 2,6 | 328 | 283 | 98 | 0,969 | 6,37 | |
| 8 | 5,86 | 0,141 | 0,5 | 138 | 92 | 66 | 1,258 | 7,81 | |
| 9 | 5,86 | 0,223 | 1,14 | 293 | 233 | 94 | 1,940 | 11,1 | |

Tabela 3.13. Zbirni eksperimentalni rezultati potrebni za optimizaciju parametara

| Redni broj | Faktor | | | SSM legura aluminijuma | | | | | |
|------------|--------|-----------------------|-----------|------------------------|--------------------|-------|---------------------|-----------------------|--|
| | | | | Čeono glodanje | | | | | |
| | v, m/s | s ₁ , mm/z | a / b, mm | F _g , N | F _p , N | θ, C° | R _a , μm | R _{max} , μm | |
| 1 | 2,35 | 0,089 | 0,5 | 85 | 79 | 55 | 0,817 | 5,90 | |
| 2 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 223 | 152 | 60 | 0,758 | 5,76 | |
| 3 | 2,35 | 0,223 | 2,6 | 631 | 485 | 115 | 1,259 | 7,91 | |
| 4 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 170 | 133 | 61 | 0,568 | 3,34 | |
| 5 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 423 | 342 | 93 | 0,921 | 6,3 | |
| 6 | 3,71 | 0,223 | 0,5 | 145 | 108 | 70 | 1,303 | 8,78 | |
| 7 | 5,86 | 0,089 | 2,6 | 332 | 287 | 106 | 0,731 | 5,6 | |
| 8 | 5,86 | 0,141 | 0,5 | 137 | 112 | 69 | 1,048 | 7,48 | |
| 9 | 5,86 | 0,223 | 1,14 | 305 | 238 | 98 | 1,257 | 8,47 | |

4.0. MODELIRANJE PROCESA OBRADJE GLODANJEM

U ovom delu rad je prikazano formiranje matematičkih modela izlaznih karakteristika stanja procesa: matematičko-statističkom metodom i metodama veštačke inteligencije, kako je opisano u potpoglavlju broj 2.5 i 2.6.

4.1. Model trofaktornog plana eksperimenta procesa obrade glodanjem

Obrada podataka po trofaktornom planu eksperimenta drugog nivoa izvršena je za glavnu silu rezanja F_g , silu prodiranja F_p , temperaturu u zoni rezanja θ , kao i za dve mere hrapavosti obrađene površine, aritmetičku hrapavost R_a i maksimalnu visinu neravnina R_{max} . Takođe je izvršena i obrada podataka za faktor sabijanja strugotine λ i ugla nagiba teksture zrna ψ . Podaci sa izlaznim veličinama F_g , F_p , θ , R_a , R_{max} , λ i ψ su obrađeni kako za leguru aluminijuma konvencionalno livenu (KL) tako i za materijal leguru dobijenu pomoću SSM načina livenja.

Za sve nabrojane parametre (F_g , F_p , θ , R_a , R_{max} , λ i ψ) koji su modelirani kao izlazna veličina u odgovarajućem modelu, plan eksperimenta se odvijao po redosledu datom u tabelama 3.8. i 3.9.

Pri formiranju modela radi jednostavnije obrade podataka koristio se Microsoft Excel programski paket. Dedaljan prikaz dobijanja modela prikazan je u prilogu III gde su razrađeni modeli za izlazne karakteristika procesa obrade glodanjem. Zasebno su razrađeni modeli bez međusobnog uticaja parametara odnosno modeli sa međusobnim uticajem parametara. Opšti oblik ova dva tipa modela prikazan je u sledećim jednačinama. Gde je jednačina 4.1 je formirana na osnovu ranije objašnjene jednačine 2.39., tako što su odbačeni proizvodi međusobnih uticaja pojedinih faktora.

Model bez međusobnog uticaja parametara:

$$R = CF_1^{p_1} F_2^{p_2} F_3^{p_3} \quad (4.1)$$

Model sa međusobnim uticajem parametara:

$$R = CF_1^{p_1} F_2^{p_2} F_3^{p_3} \exp \left[p_{11} (\ln F_1)^2 + p_{22} (\ln F_2)^2 + p_{33} (\ln F_3)^2 + p_{12} \ln F_1 \ln F_2 + p_{13} \ln F_1 \ln F_3 + p_{23} \ln F_2 \ln F_3 \right] \quad (2.39)$$

U dati jednačinama sa R je označena jedna od izlaznih karakteristika obradivosti procesa glodanja, dok parametri označeni sa F predstavljaju sledeće faktore:

F_1 - brzina reanja a, mm

F_2 - pomak po zubu s_1 , mm/z

F_3 - dubina rezanja / širina glodanja a, mm / b, mm

4.1.1. Model glavne sile rezanja pri čeonom glodanju KL legure

Trofaktorni model drugog reda za glavnu silu rezanja pri čeonom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i dubine rezanja (a) je sledećeg oblika:

$$F_g = C v^{p_1} s_1^{p_2} a^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln a)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln a + p_{23} \ln s_1 \ln a \end{array} \right] \quad (4.2)$$

U tabeli 4.1. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.2. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.1. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Glavna sila rezanja F_g , N | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 113 | 106,75 | 112,11 |
| 2 | 108 | 107,62 | 111,94 |
| 3 | 148 | 151,84 | 152,25 |
| 4 | 160 | 153,09 | 163,90 |
| 5 | 251 | 259,64 | 240,20 |
| 6 | 238 | 261,76 | 226,80 |
| 7 | 351 | 369,33 | 331,97 |
| 8 | 342 | 372,36 | 337,93 |
| 9 | 193 | 200,38 | 200,08 |
| 10 | 204 | 200,38 | 200,08 |
| 11 | 204 | 200,38 | 200,08 |
| 12 | 204 | 200,38 | 200,08 |
| 13 | 200 | 198,81 | 190,83 |
| 14 | 210 | 201,96 | 193,91 |
| 15 | 161 | 140,60 | 135,23 |
| 16 | 260 | 285,20 | 274,19 |
| 17 | 102 | 82,90 | 91,15 |
| 18 | 392 | 484,51 | 398,38 |
| 19 | 196 | 198,81 | 190,83 |
| 20 | 202 | 201,96 | 193,91 |
| 21 | 152 | 140,60 | 135,23 |
| 22 | 264 | 285,20 | 274,19 |
| 23 | 100 | 82,90 | 91,15 |
| 24 | 410 | 484,51 | 398,38 |

Tabela 4.2. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koeficijenti | | | |
|------------------------------|--------------|-----------|------------------|-----------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 769,6124 | F_{r0} | 787790,31 |
| | p_1 | 0,01717 | F_{r1} | 0,31* |
| | p_2 | 0,77004 | F_{r2} | 581,57 |
| | p_3 | 1,07089 | F_{r3} | 3699,64 |
| | Adekvatnost | | F_a | 3,84638 |
| Model sa međusobnim uticajem | C | 113,2390 | F_{r0} | 108763,09 |
| | p_1 | 1,20853 | F_{r1} | 0,21* |
| | p_2 | -0,39036 | F_{r2} | 398,21 |
| | p_3 | 1,18989 | F_{r3} | 2533,19 |
| | p_{11} | -0,18842 | F_{r11} | 1,08* |
| | p_{22} | -0,17858 | F_{r22} | 0,84* |
| | p_{33} | -0,07197 | F_{r33} | 1,48* |
| | p_{12} | 0,34622 | F_{r12} | 2,27* |
| | p_{13} | -0,14196 | F_{r13} | 1,25* |
| | p_{23} | 0,04608 | F_{r23} | 0,12* |
| Adekvatnost | | F_a | 2,09663 | |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.2. Model sile prodiranja pri čeonom glodanju KL legure

Trofaktorni model drugog reda za silu prodiranja pri čeonom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i dubine rezanja (a) je sledećeg oblika:

$$F_p = C v^{p_1} s_1^{p_2} a^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln a)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln a + p_{23} \ln s_1 \ln a \end{array} \right] \quad (4.3)$$

U tabeli 4.3. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.4. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.3. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Sila prodiranja F_p , N | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 92 | 90,47 | 115,87 |
| 2 | 87 | 87,32 | 110,34 |
| 3 | 120 | 128,90 | 134,05 |
| 4 | 131 | 124,42 | 170,30 |
| 5 | 219 | 209,51 | 144,96 |
| 6 | 138 | 202,23 | 106,31 |
| 7 | 281 | 298,51 | 190,66 |
| 8 | 273 | 288,13 | 186,53 |
| 9 | 163 | 162,25 | 154,03 |
| 10 | 170 | 162,25 | 154,03 |
| 11 | 165 | 162,25 | 154,03 |
| 12 | 165 | 162,25 | 154,03 |
| 13 | 153 | 167,87 | 135,94 |
| 14 | 168 | 156,82 | 127,11 |
| 15 | 132 | 113,66 | 92,35 |
| 16 | 189 | 231,31 | 187,70 |
| 17 | 85 | 70,48 | 130,57 |
| 18 | 360 | 373,66 | 178,92 |
| 19 | 160 | 167,87 | 135,94 |
| 20 | 165 | 156,82 | 127,11 |
| 21 | 130 | 113,66 | 92,35 |
| 22 | 216 | 231,31 | 187,70 |
| 23 | 94 | 70,48 | 130,57 |
| 24 | 327 | 373,66 | 178,92 |

Tabela 4.4. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koeficijenti | | | |
|------------------------------|------------------------------|-----------|------------------|-----------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 713,1802 | F_{r0} | 284509,87 |
| | p_1 | -0,07455 | F_{r1} | 2,30* |
| | p_2 | 0,77356 | F_{r2} | 229,91 |
| | p_3 | 1,01176 | F_{r3} | 1293,67 |
| | Adekvatnost | | F_a | 7,98879 |
| | Model sa međusobnim uticajem | C | 0,3200 | F_{r0} |
| p_1 | | 4,60440 | F_{r1} | 1,20* |
| p_2 | | -3,91604 | F_{r2} | 120,26 |
| p_3 | | 1,72488 | F_{r3} | 676,69 |
| p_{11} | | -0,75940 | F_{r11} | 5,27* |
| p_{22} | | -0,74097 | F_{r22} | 4,33* |
| p_{33} | | -0,01142 | F_{r33} | 0,01* |
| p_{12} | | 1,32692 | F_{r12} | 9,97 |
| p_{13} | | -0,66312 | F_{r13} | 8,19 |
| p_{23} | | 0,33764 | F_{r23} | 1,97* |
| Adekvatnost | | F_a | 1,97427 | |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.3. Model temperature u zoni rezanja pri čeonom glodanju KL legure

Trofaktorni model drugog reda za temperaturu u zoni rezanja pri čeonom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i dubine rezanja (a) je sledećeg oblika:

$$\theta = C v^{p_1} s_1^{p_2} a^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln a)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln a + p_{23} \ln s_1 \ln a \end{array} \right] \quad (4.4)$$

U tabeli 4.5. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.6. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.5. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Temper. rezanja θ , C° | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 46 | 45,16 | 44,75 |
| 2 | 52 | 50,59 | 50,81 |
| 3 | 53 | 51,34 | 50,93 |
| 4 | 56 | 57,51 | 55,50 |
| 5 | 60 | 61,69 | 61,74 |
| 6 | 67 | 69,10 | 71,10 |
| 7 | 70 | 70,12 | 73,05 |
| 8 | 77 | 78,55 | 80,72 |
| 9 | 61 | 59,65 | 59,92 |
| 10 | 59 | 59,65 | 59,92 |
| 11 | 59 | 59,65 | 59,92 |
| 12 | 58 | 59,65 | 59,92 |
| 13 | 55 | 53,48 | 52,89 |
| 14 | 64 | 66,54 | 65,80 |
| 15 | 56 | 52,44 | 53,56 |
| 16 | 66 | 67,82 | 69,32 |
| 17 | 46 | 43,77 | 42,70 |
| 18 | 77 | 81,30 | 85,31 |
| 19 | 53 | 53,48 | 52,89 |
| 20 | 66 | 66,54 | 65,80 |
| 21 | 54 | 52,44 | 53,56 |
| 22 | 66 | 67,82 | 69,32 |
| 23 | 48 | 43,77 | 42,70 |
| 24 | 76 | 81,30 | 85,31 |

Tabela 4.6. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koeficijenti | | | |
|------------------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 71,8331 | F _{r0} | 730594,98 |
| | p ₁ | 0,23907 | F _{r1} | 93,88 |
| | p ₂ | 0,28001 | F _{r2} | 119,71 |
| | p ₃ | 0,37564 | F _{r3} | 708,63 |
| | Adekvatnost | | F _a | 1,30815 |
| Model sa međusobnim uticajem | C | 137,2397 | F _{r0} | 96554,86 |
| | p ₁ | 0,05921 | F _{r1} | 62,07 |
| | p ₂ | 0,83105 | F _{r2} | 79,15 |
| | p ₃ | 0,57040 | F _{r3} | 468,53 |
| | p ₁₁ | -0,07516 | F _{r11} | 0,26* |
| | p ₂₂ | 0,08024 | F _{r22} | 0,26* |
| | p ₃₃ | 0,01041 | F _{r33} | 0,05* |
| | p ₁₂ | -0,19007 | F _{r12} | 1,03* |
| | p ₁₃ | 0,03553 | F _{r13} | 0,12* |
| | p ₂₃ | 0,10202 | F _{r23} | 0,90* |
| Adekvatnost | | F _a | 0,54477 | |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.4. Model srednje aritetičke hrapavosti obrađene površine pri čeonom glodanju KL legure

Trofaktorni model drugog reda za srednju aritmetičku hrapavost obrađene površine pri čeonom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i dubine rezanja (a) je sledećeg oblika:

$$R_a = C v^{p_1} s_1^{p_2} a^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln a)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln a + p_{23} \ln s_1 \ln a \end{array} \right] \quad (4.5)$$

U tabeli 4.7. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.8. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.7. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|---|------------------------------|------------------------------|
| | Sred. aritm. hrapavost $R_a, \mu\text{m}$ | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 1,074 | 0,98 | 1,05 |
| 2 | 1,081 | 0,99 | 1,12 |
| 3 | 1,743 | 1,75 | 1,84 |
| 4 | 1,645 | 1,77 | 1,84 |
| 5 | 1,058 | 0,98 | 0,93 |
| 6 | 1,023 | 0,99 | 0,95 |
| 7 | 1,898 | 1,76 | 1,80 |
| 8 | 1,734 | 1,78 | 1,74 |
| 9 | 1,214 | 1,32 | 1,20 |
| 10 | 1,236 | 1,32 | 1,20 |
| 11 | 1,227 | 1,32 | 1,20 |
| 12 | 1,175 | 1,32 | 1,20 |
| 13 | 1,132 | 1,31 | 1,12 |
| 14 | 1,253 | 1,33 | 1,15 |
| 15 | 0,999 | 0,74 | 1,12 |
| 16 | 2,556 | 2,36 | 3,62 |
| 17 | 1,245 | 1,31 | 1,34 |
| 18 | 1,237 | 1,33 | 1,12 |
| 19 | 1,134 | 1,31 | 1,12 |
| 20 | 1,235 | 1,33 | 1,15 |
| 21 | 0,991 | 0,74 | 1,12 |
| 22 | 2,489 | 2,36 | 3,62 |
| 23 | 1,239 | 1,31 | 1,34 |
| 24 | 1,221 | 1,33 | 1,12 |

Tabela 4.8. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koeficijenti | | | |
|------------------------------|--------------|------------|------------------|-----------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 15,3731 | F_{r0} | 5090,40 |
| | p_1 | 0,02341 | F_{r1} | 1,38* |
| | p_2 | 1,26929 | F_{r2} | 3766,04 |
| | p_3 | 0,00571 | F_{r3} | 0,25* |
| | Adekvatnost | | F_a | 55,14508 |
| | | | | |
| Model sa međusobnim uticajem | C | 201568,587 | F_{r0} | 452,16 |
| | p_1 | 0,23366 | F_{r1} | 1,18* |
| | p_2 | 11,20405 | F_{r2} | 3235,44 |
| | p_3 | 0,54344 | F_{r3} | 0,22* |
| | p_{11} | -0,28380 | F_{r11} | 7,35 |
| | p_{22} | 2,44943 | F_{r22} | 473,16 |
| | p_{33} | 0,02290 | F_{r33} | 0,45* |
| | p_{12} | -0,27871 | F_{r12} | 4,39* |
| | p_{13} | -0,09218 | F_{r13} | 1,58* |
| | p_{23} | 0,27384 | F_{r23} | 12,97 |
| | Adekvatnost | | F_a | 6,33264 |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.5. Model maksimalne visine neravnina obrađene površine pri čeonom glodanju KL legure

Trofaktorni model drugog reda za maksimalnu visinu neravnina obrađene površine pri čeonom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i dubine rezanja (a) je sledećeg oblika:

$$R_{\max} = C v^{p_1} s_1^{p_2} a^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln a)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln a + p_{23} \ln s_1 \ln a \end{array} \right] \quad (4.6)$$

U tabeli 4.9. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.10. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.9. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|--|------------------------------|------------------------------|
| | Maksim. hrapavost R_{\max} , μm | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 8,39 | 6,88 | 7,94 |
| 2 | 7,62 | 6,93 | 8,08 |
| 3 | 11,4 | 10,99 | 11,95 |
| 4 | 12,3 | 11,07 | 13,13 |
| 5 | 7,49 | 6,58 | 6,04 |
| 6 | 6,79 | 6,63 | 5,58 |
| 7 | 11,7 | 10,51 | 9,50 |
| 8 | 10,4 | 10,59 | 9,47 |
| 9 | 8,01 | 8,54 | 7,44 |
| 10 | 8,06 | 8,54 | 7,44 |
| 11 | 8,26 | 8,54 | 7,44 |
| 12 | 7,73 | 8,54 | 7,44 |
| 13 | 6,84 | 8,49 | 7,38 |
| 14 | 8,09 | 8,60 | 7,48 |
| 15 | 6,76 | 5,33 | 7,59 |
| 16 | 13,8 | 13,67 | 19,50 |
| 17 | 7,89 | 8,93 | 11,07 |
| 18 | 7,84 | 8,18 | 6,12 |
| 19 | 7,33 | 8,49 | 7,38 |
| 20 | 7,62 | 8,60 | 7,48 |
| 21 | 6,41 | 5,33 | 7,59 |
| 22 | 13,8 | 13,67 | 19,50 |
| 23 | 7,78 | 8,93 | 11,07 |
| 24 | 7,92 | 8,18 | 6,12 |

Tabela 4.10. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koefficijenti | | | |
|------------------------------|---------------|-------------|------------------|-----------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 62,8132 | F_{t0} | 107675,17 |
| | p_1 | 0,01476 | F_{r1} | 0,19* |
| | p_2 | 1,02465 | F_{r2} | 858,49 |
| | p_3 | -0,05337 | F_{r3} | 7,66 |
| | Adekvatnost | | F_a | 19,33685 |
| | | | | |
| Model sa međusobnim uticajem | C | 170057,5608 | F_{t0} | 12555,92 |
| | p_1 | 0,75135 | F_{r1} | 0,12* |
| | p_2 | 9,71483 | F_{r2} | 549,96 |
| | p_3 | 0,15094 | F_{r3} | 4,91* |
| | p_{11} | -0,00628 | F_{r11} | 0,00* |
| | p_{22} | 2,33766 | F_{r22} | 112,41 |
| | p_{33} | 0,15008 | F_{r33} | 5,01* |
| | p_{12} | 0,35119 | F_{r12} | 1,82* |
| | p_{13} | -0,24826 | F_{r13} | 2,99* |
| | p_{23} | 0,11449 | F_{r23} | 0,59* |
| | Adekvatnost | | F_a | 3,29477 |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.6. Model glavne sile rezanja pri čeonom glodanju SSM legure

Trofaktorni model drugog reda za glavnu silu rezanja pri čeonom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i dubine rezanja (a) je sledećeg oblika:

$$F_g = C v^{p_1} s_1^{p_2} a^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln a)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln a + p_{23} \ln s_1 \ln a \end{array} \right] \quad (4.7)$$

U tabeli 4.11. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.12. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.11. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Glavna sila rezanja F_g , N | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 119 | 117,97 | 123,15 |
| 2 | 124 | 120,73 | 127,06 |
| 3 | 163 | 165,37 | 168,64 |
| 4 | 186 | 169,24 | 184,37 |
| 5 | 255 | 279,72 | 251,09 |
| 6 | 255 | 286,28 | 240,57 |
| 7 | 357 | 392,10 | 340,04 |
| 8 | 366 | 401,29 | 345,19 |
| 9 | 230 | 218,64 | 219,51 |
| 10 | 218 | 218,64 | 219,51 |
| 11 | 230 | 218,64 | 219,51 |
| 12 | 208 | 218,64 | 219,51 |
| 13 | 223 | 213,82 | 206,53 |
| 14 | 227 | 223,57 | 215,96 |
| 15 | 180 | 155,69 | 143,31 |
| 16 | 269 | 306,65 | 282,02 |
| 17 | 115 | 92,77 | 104,48 |
| 18 | 466 | 515,45 | 394,79 |
| 19 | 227 | 213,82 | 206,53 |
| 20 | 221 | 223,57 | 215,96 |
| 21 | 170 | 155,69 | 143,31 |
| 22 | 282 | 306,65 | 282,02 |
| 23 | 104 | 92,77 | 104,48 |
| 24 | 423 | 515,45 | 394,79 |

Tabela 4.12. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koefficienti | | | | |
|------------------------------|------------------------------|-----------|------------------|-----------|----------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti | |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 759,6165 | F_{r0} | 256700,97 | |
| | p_1 | 0,04880 | F_{r1} | 0,79* | |
| | p_2 | 0,73797 | F_{r2} | 168,44 | |
| | p_3 | 1,04020 | F_{r3} | 1100,76 | |
| | Adekvatnost | | | F_a | 2,53258 |
| | Model sa međusobnim uticajem | C | 57,2210 | F_{r0} | 35133,46 |
| p_1 | | 1,08104 | F_{r1} | 0,54* | |
| p_2 | | -1,23017 | F_{r2} | 113,80 | |
| p_3 | | 1,02565 | F_{r3} | 743,70 | |
| p_{11} | | -0,18519 | F_{r11} | 0,33* | |
| p_{22} | | -0,41376 | F_{r22} | 1,40* | |
| p_{33} | | -0,11454 | F_{r33} | 1,16* | |
| p_{12} | | 0,26638 | F_{r12} | 0,42* | |
| p_{13} | | -0,18815 | F_{r13} | 0,69* | |
| p_{23} | | -0,02929 | F_{r23} | 0,02* | |
| Adekvatnost | | | F_a | 1,36720 | |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.7. Model sile prodiranja pri čeonom glodanju SSM legure

Trofaktorni model drugog reda za silu prodiranja pri čeonom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i dubine rezanja (a) je sledećeg oblika:

$$F_p = C v^{p_1} s_1^{p_2} a^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln a)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln a + p_{23} \ln s_1 \ln a \end{array} \right] \quad (4.8)$$

U tabeli 4.13. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.14. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.13. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Sila prodiranja F_p, N | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 106 | 93,11 | 87,53 |
| 2 | 93 | 97,59 | 84,20 |
| 3 | 134 | 130,55 | 119,29 |
| 4 | 135 | 136,82 | 122,67 |
| 5 | 215 | 225,29 | 265,55 |
| 6 | 225 | 236,12 | 283,66 |
| 7 | 289 | 315,87 | 358,27 |
| 8 | 301 | 331,05 | 409,12 |
| 9 | 207 | 176,43 | 186,95 |
| 10 | 170 | 176,43 | 186,95 |
| 11 | 163 | 176,43 | 186,95 |
| 12 | 165 | 176,43 | 186,95 |
| 13 | 163 | 168,64 | 157,72 |
| 14 | 194 | 184,59 | 173,06 |
| 15 | 147 | 125,61 | 135,48 |
| 16 | 244 | 247,50 | 266,86 |
| 17 | 90 | 73,37 | 60,89 |
| 18 | 392 | 424,37 | 606,32 |
| 19 | 152 | 168,64 | 157,72 |
| 20 | 171 | 184,59 | 173,06 |
| 21 | 133 | 125,61 | 135,48 |
| 22 | 233 | 247,50 | 266,86 |
| 23 | 94 | 73,37 | 60,89 |
| 24 | 342 | 424,37 | 606,32 |

Tabela 4.14. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koficijenti | | | | |
|------------------------------|-------------|-----------|------------------|-----------|---------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti | |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 572,6695 | F_{r0} | 62973,78 | |
| | p_1 | 0,09889 | F_{r1} | 0,87* | |
| | p_2 | 0,73840 | F_{r2} | 44,88 | |
| | p_3 | 1,06453 | F_{r3} | 306,79 | |
| | Adekvatnost | | | F_a | 0,70809 |
| Model sa međusobnim uticajem | C | 137,8490 | F_{r0} | 10032,22 | |
| | p_1 | 2,22217 | F_{r1} | 0,69* | |
| | p_2 | 0,66509 | F_{r2} | 35,54 | |
| | p_3 | 0,98266 | F_{r3} | 242,98 | |
| | p_{11} | -0,59237 | F_{r11} | 1,04* | |
| | p_{22} | 0,08328 | F_{r22} | 0,02* | |
| | p_{33} | 0,03997 | F_{r33} | 0,04* | |
| | p_{12} | 0,30725 | F_{r12} | 0,17* | |
| | p_{13} | 0,26593 | F_{r13} | 0,43* | |
| | p_{23} | -0,02669 | F_{r23} | 0,00* | |
| | Adekvatnost | | | F_a | 0,34569 |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.8. Model temperature u zoni rezanja pri čeonom glodanju SSM legure

Trofaktorni model drugog reda za temperaturu u zoni rezanja pri čeonom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i dubine rezanja (a) je sledećeg oblika:

$$\theta = C v^{p_1} s_1^{p_2} a^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln a)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln a + p_{23} \ln s_1 \ln a \end{array} \right] \quad (4.9)$$

U tabeli 4.15. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.16. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.15. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Temper. rezanja θ , C° | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 54 | 49,09 | 47,12 |
| 2 | 59 | 56,52 | 53,35 |
| 3 | 60 | 56,90 | 56,91 |
| 4 | 67 | 65,52 | 61,02 |
| 5 | 66 | 68,57 | 80,38 |
| 6 | 85 | 78,96 | 99,39 |
| 7 | 77 | 79,50 | 94,45 |
| 8 | 87 | 91,54 | 110,59 |
| 9 | 57 | 67,14 | 64,61 |
| 10 | 62 | 67,14 | 64,61 |
| 11 | 64 | 67,14 | 64,61 |
| 12 | 62 | 67,14 | 64,61 |
| 13 | 59 | 58,62 | 61,35 |
| 14 | 71 | 76,90 | 80,45 |
| 15 | 60 | 57,86 | 67,01 |
| 16 | 79 | 77,85 | 90,25 |
| 17 | 53 | 48,17 | 43,71 |
| 18 | 93 | 93,58 | 134,45 |
| 19 | 61 | 58,62 | 61,35 |
| 20 | 75 | 76,90 | 80,45 |
| 21 | 61 | 57,86 | 67,01 |
| 22 | 80 | 77,85 | 90,25 |
| 23 | 51 | 48,17 | 43,71 |
| 24 | 90 | 93,58 | 134,45 |

Tabela 4.16. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koefficienti | | | | |
|------------------------------|-----------------|-----------|------------------|----------------|---------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti | |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 81,2218 | F _{r0} | 231441,13 | |
| | p ₁ | 0,29705 | F _{r1} | 43,37 | |
| | p ₂ | 0,32297 | F _{r2} | 47,66 | |
| | p ₃ | 0,40285 | F _{r3} | 243,88 | |
| | Adekvatnost | | | F _a | 3,15203 |
| Model sa međusobnim uticajem | C | 8940,0965 | F _{r0} | 37415,50 | |
| | p ₁ | -1,27421 | F _{r1} | 36,33 | |
| | p ₂ | 4,11080 | F _{r2} | 39,92 | |
| | p ₃ | 0,18035 | F _{r3} | 204,32 | |
| | p ₁₁ | 0,40024 | F _{r11} | 2,79* | |
| | p ₂₂ | 0,87967 | F _{r22} | 11,63 | |
| | p ₃₃ | 0,25135 | F _{r33} | 10,27 | |
| | p ₁₂ | -0,25110 | F _{r12} | 0,68* | |
| | p ₁₃ | 0,22361 | F _{r13} | 1,77* | |
| | p ₂₃ | -0,07254 | F _{r23} | 0,17* | |
| | Adekvatnost | | | F _a | 1,13311 |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.9. Model srednje aritetičke hrapavosti obrađene površine pri čeonom glodanju SSM legure

Trofaktorni model drugog reda za srednju aritmetičku hrapavost obrađene površine pri čeonom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i dubine rezanja (a) je sledećeg oblika:

$$R_a = C v^{p_1} s_1^{p_2} a^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln a)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln a + p_{23} \ln s_1 \ln a \end{array} \right] \quad (4.10)$$

U tabeli 4.17. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.18. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.17. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|---|------------------------------|------------------------------|
| | Sred. aritm. hrapavost $R_a, \mu\text{m}$ | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 0,657 | 0,70 | 0,92 |
| 2 | 0,666 | 0,54 | 0,83 |
| 3 | 0,909 | 0,94 | 1,26 |
| 4 | 0,815 | 0,73 | 1,17 |
| 5 | 0,765 | 0,71 | 0,46 |
| 6 | 0,472 | 0,55 | 0,29 |
| 7 | 0,869 | 0,96 | 0,59 |
| 8 | 0,632 | 0,74 | 0,39 |
| 9 | 0,621 | 0,72 | 0,56 |
| 10 | 0,553 | 0,72 | 0,56 |
| 11 | 0,643 | 0,72 | 0,56 |
| 12 | 0,604 | 0,72 | 0,56 |
| 13 | 0,758 | 0,92 | 0,59 |
| 14 | 0,482 | 0,56 | 0,36 |
| 15 | 0,568 | 0,53 | 0,57 |
| 16 | 1,07 | 0,97 | 1,04 |
| 17 | 0,818 | 0,70 | 2,28 |
| 18 | 0,921 | 0,73 | 0,38 |
| 19 | 0,774 | 0,92 | 0,59 |
| 20 | 0,528 | 0,56 | 0,36 |
| 21 | 0,68 | 0,53 | 0,57 |
| 22 | 1,026 | 0,97 | 1,04 |
| 23 | 0,775 | 0,70 | 2,28 |
| 24 | 1,093 | 0,73 | 0,38 |

Tabela 4.18. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koeficijenti | | | |
|------------------------------|--------------|-----------|------------------|-----------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 5,3687 | F_{t0} | 423,26 |
| | p_1 | -0,54722 | F_{r1} | 43,19 |
| | p_2 | 0,66187 | F_{r2} | 58,72 |
| | p_3 | 0,02448 | F_{r3} | 0,26* |
| | Adekvatnost | | | F_a |
| Model sa međusobnim uticajem | C | 257,8408 | F_{t0} | 92,47 |
| | p_1 | 2,10699 | F_{r1} | 26,97 |
| | p_2 | 6,54356 | F_{r2} | 36,68 |
| | p_3 | -0,38070 | F_{r3} | 0,17* |
| | p_{11} | -0,89614 | F_{r11} | 3,06* |
| | p_{22} | 1,52763 | F_{r22} | 7,67 |
| | p_{33} | 0,76115 | F_{r33} | 20,61 |
| | p_{12} | 0,09593 | F_{r12} | 0,02* |
| | p_{13} | -0,89570 | F_{r13} | 6,22* |
| | p_{23} | -0,14108 | F_{r23} | 0,14* |
| Adekvatnost | | | F_a | 1,53569 |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.10. Model maksimalne visine neravnina obrađene površine pri čeonom glodanju SSM legure

Trofaktorni model drugog reda za maksimalnu visinu neravnina obrađene površine pri čeonom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i dubine rezanja (a) je sledećeg oblika:

$$R_{\max} = C v^{p_1} s_1^{p_2} a^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln a)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln a + p_{23} \ln s_1 \ln a \end{array} \right] \quad (4.11)$$

U tabeli 5.19. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 5.20. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.19. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|--|------------------------------|------------------------------|
| | Maksim. hrapavost R_{\max} , μm | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 5,07 | 4,66 | 5,62 |
| 2 | 4,51 | 4,00 | 4,87 |
| 3 | 6,89 | 7,37 | 8,75 |
| 4 | 7,97 | 6,32 | 9,43 |
| 5 | 5,63 | 4,75 | 3,80 |
| 6 | 4,12 | 4,08 | 2,59 |
| 7 | 6,63 | 7,52 | 4,91 |
| 8 | 5,78 | 6,45 | 4,17 |
| 9 | 5,16 | 5,49 | 4,75 |
| 10 | 4,91 | 5,49 | 4,75 |
| 11 | 5,02 | 5,49 | 4,75 |
| 12 | 6,3 | 5,49 | 4,75 |
| 13 | 5,76 | 6,37 | 5,50 |
| 14 | 4,3 | 4,74 | 4,09 |
| 15 | 3,34 | 3,47 | 2,93 |
| 16 | 7,77 | 8,69 | 7,32 |
| 17 | 5,31 | 5,38 | 11,65 |
| 18 | 6,83 | 5,60 | 3,53 |
| 19 | 6,11 | 6,37 | 5,50 |
| 20 | 4,63 | 4,74 | 4,09 |
| 21 | 3,45 | 3,47 | 2,93 |
| 22 | 7,47 | 8,69 | 7,32 |
| 23 | 5,66 | 5,38 | 11,65 |
| 24 | 6,3 | 5,60 | 3,53 |

Tabela 4.20. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koefficienti | | | |
|------------------------------|--------------|-----------|------------------|-----------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 59,4111 | F_{r0} | 7744,14 |
| | p_1 | -0,32299 | F_{r1} | 10,48 |
| | p_2 | 1,00095 | F_{r2} | 93,56 |
| | p_3 | 0,02441 | F_{r3} | 0,18* |
| | Adekvatnost | | F_a | 2,14613 |
| Model sa međusobnim uticajem | C | 2,6926 | F_{r0} | 1304,99 |
| | p_1 | 1,75517 | F_{r1} | 9,33 |
| | p_2 | -0,73559 | F_{r2} | 83,28 |
| | p_3 | -1,00916 | F_{r3} | 0,16* |
| | p_{11} | -0,00987 | F_{r11} | 0,00* |
| | p_{22} | -0,12169 | F_{r22} | 0,05* |
| | p_{33} | 0,44157 | F_{r33} | 6,89 |
| | p_{12} | 1,00744 | F_{r12} | 2,38* |
| | p_{13} | -0,60665 | F_{r13} | 2,83* |
| | p_{23} | -0,49239 | F_{r23} | 1,74* |
| | Adekvatnost | | F_a | 0,80481 |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.11. Model faktora sabijanja strugotine pri obimnom glodanju KL legure

Trofaktorni model drugog reda za faktor sabijanja strugotine pri obimnom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i širine glodanja (b) je sledećeg oblika:

$$\lambda = C v^{p_1} s_1^{p_2} b^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln b)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln b + p_{23} \ln s_1 \ln b \end{array} \right] \quad (4.12)$$

U tabeli 4.21. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.22. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.21. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Faktor sabijanja strugot. λ | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 2,44 | 2,52 | 1,74 |
| 2 | 2,87 | 2,56 | 1,48 |
| 3 | 1,98 | 2,16 | 1,43 |
| 4 | 1,57 | 2,19 | 1,10 |
| 5 | 2,38 | 2,68 | 4,38 |
| 6 | 3,25 | 2,73 | 5,84 |
| 7 | 1,72 | 2,30 | 4,31 |
| 8 | 2,89 | 2,33 | 5,24 |
| 9 | 2,87 | 2,42 | 3,54 |
| 10 | 3,02 | 2,42 | 3,54 |
| 11 | 3,37 | 2,42 | 3,54 |
| 12 | 3,13 | 2,42 | 3,54 |
| 13 | 3,24 | 2,39 | 3,38 |
| 14 | 2,65 | 2,46 | 3,50 |
| 15 | 2,04 | 2,83 | 2,19 |
| 16 | 2,2 | 2,08 | 1,60 |
| 17 | 2,09 | 2,28 | 0,64 |
| 18 | 2,34 | 2,58 | 7,44 |
| 19 | 2,92 | 2,39 | 3,38 |
| 20 | 2,28 | 2,46 | 3,50 |
| 21 | 2,02 | 2,83 | 2,19 |
| 22 | 1,89 | 2,08 | 1,60 |
| 23 | 2,34 | 2,28 | 0,64 |
| 24 | 2 | 2,58 | 7,44 |

Tabela 4.22. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koefficijenti | | | |
|------------------------------|-----------------|-----------|------------------|-----------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 1,1825 | F _{t0} | 2534,01 |
| | p ₁ | 0,03334 | F _{r1} | 0,13* |
| | p ₂ | -0,33912 | F _{r2} | 12,96 |
| | p ₃ | 0,07630 | F _{r3} | 2,16* |
| | Adekvatnost | | F _a | 8,83570 |
| | | | | |
| Model sa međusobnim uticajem | C | 0,0000332 | F _{r0} | 459,44 |
| | p ₁ | -0,60406 | F _{r1} | 0,08* |
| | p ₂ | -11,67874 | F _{r2} | 7,94 |
| | p ₃ | 1,12812 | F _{r3} | 1,32* |
| | p ₁₁ | -0,13397 | F _{r11} | 0,06* |
| | p ₂₂ | -3,02034 | F _{r22} | 24,73 |
| | p ₃₃ | -0,70811 | F _{r33} | 14,71 |
| | p ₁₂ | -0,43030 | F _{r12} | 0,36* |
| | p ₁₃ | 1,14240 | F _{r13} | 8,35 |
| | p ₂₃ | 0,48698 | F _{r23} | 1,41* |
| | Adekvatnost | | F _a | 2,08912 |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.12. Model ugla nagiba teksture zrna pri obimnom glodanju KL legure

Trofaktorni model drugog reda za ugao nagiba teksture zrna pri obimnom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i širine glodanja (b) je sledećeg oblika:

$$\psi = C v^{p_1} s_1^{p_2} b^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln b)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln b + p_{23} \ln s_1 \ln b \end{array} \right] \quad (4.13)$$

U tabeli 4.23. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.24. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.23. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Ugao nagiba teksture zrna ψ , ° | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 21 | 11,18 | 6,88 |
| 2 | 6 | 11,61 | 1,71 |
| 3 | 6 | 8,13 | 1,98 |
| 4 | 4 | 8,44 | 1,96 |
| 5 | 15 | 13,56 | 149,84 |
| 6 | 11 | 14,09 | 163,19 |
| 7 | 4 | 9,85 | 68,85 |
| 8 | 20 | 10,23 | 299,07 |
| 9 | 6 | 10,70 | 18,92 |
| 10 | 4 | 10,70 | 18,92 |
| 11 | 8 | 10,70 | 18,92 |
| 12 | 26 | 10,70 | 18,92 |
| 13 | 11 | 10,31 | 30,45 |
| 14 | 27 | 11,09 | 33,28 |
| 15 | 19 | 14,75 | 29,48 |
| 16 | 8 | 7,77 | 15,48 |
| 17 | 11 | 8,83 | 0,22 |
| 18 | 13 | 12,96 | 679,25 |
| 19 | 20 | 10,31 | 30,45 |
| 20 | 13 | 11,09 | 33,28 |
| 21 | 10 | 14,75 | 29,48 |
| 22 | 21 | 7,77 | 15,48 |
| 23 | 9 | 8,83 | 0,22 |
| 24 | 8 | 12,96 | 679,25 |

Tabela 4.24. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koefficienti | | | | |
|------------------------------|------------------------------|-----------|------------------|-----------------|---------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti | |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 2,3810 | F _{r0} | 262,25 | |
| | p ₁ | 0,07945 | F _{r1} | 0,01* | |
| | p ₂ | -0,69818 | F _{r2} | 0,79* | |
| | p ₃ | 0,23243 | F _{r3} | 0,29* | |
| | Adekvatnost | | | F _a | 0,68388 |
| | Model sa međusobnim uticajem | C | 0,0002 | F _{r0} | 40,77 |
| p ₁ | | 5,54469 | F _{r1} | 0,01* | |
| p ₂ | | -6,96827 | F _{r2} | 0,64* | |
| p ₃ | | 2,53493 | F _{r3} | 0,23* | |
| p ₁₁ | | 2,49228 | F _{r11} | 0,37* | |
| p ₂₂ | | 0,57229 | F _{r22} | 0,02* | |
| p ₃₃ | | -0,64722 | F _{r33} | 0,23* | |
| p ₁₂ | | 6,36827 | F _{r12} | 1,50* | |
| p ₁₃ | | 3,75326 | F _{r13} | 1,71* | |
| p ₂₃ | | 1,22983 | F _{r23} | 0,17* | |
| Adekvatnost | | | F _a | 0,18041 | |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.13. Model faktora sabijanja strugotine pri obimnom glodanju SSM legure

Trofaktorni model drugog reda za faktor sabijanja strugotine pri obimnom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i širine glodanja (b) je sledećeg oblika:

$$\lambda = C v^{p_1} s_1^{p_2} b^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln b)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln b + p_{23} \ln s_1 \ln b \end{array} \right] \quad (4.14)$$

U tabeli 4.25. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.26. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.25. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Faktor sabijanja strugot. λ | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 2,75 | 6,97 | 11,77 |
| 2 | 4,65 | 5,12 | 13,08 |
| 3 | 3,04 | 3,74 | 7,00 |
| 4 | 2,46 | 2,75 | 7,73 |
| 5 | 5,69 | 4,53 | 1,49 |
| 6 | 2,04 | 3,33 | 0,73 |
| 7 | 2,49 | 2,43 | 0,73 |
| 8 | 1,84 | 1,79 | 0,35 |
| 9 | 3,31 | 3,52 | 2,33 |
| 10 | 2 | 3,52 | 2,33 |
| 11 | 2,55 | 3,52 | 2,33 |
| 12 | 2,71 | 3,52 | 2,33 |
| 13 | 4,01 | 4,73 | 2,30 |
| 14 | 2,75 | 2,62 | 1,27 |
| 15 | 9,1 | 6,57 | 7,17 |
| 16 | 3 | 1,89 | 2,06 |
| 17 | 9,4 | 5,40 | 39,48 |
| 18 | 2,61 | 2,29 | 0,24 |
| 19 | 5,09 | 4,73 | 2,30 |
| 20 | 2,66 | 2,62 | 1,27 |
| 21 | 10,64 | 6,57 | 7,17 |
| 22 | 2,71 | 1,89 | 2,06 |
| 23 | 6,62 | 5,40 | 39,48 |
| 24 | 3,15 | 2,29 | 0,24 |

Tabela 4.26. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koeficijenti | | | |
|------------------------------|-----------------|-----------|------------------|----------------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 0,6179 | F _{r0} | 994,26 |
| | p ₁ | -0,64935 | F _{r1} | 9,90 |
| | p ₂ | -1,35735 | F _{r2} | 40,20 |
| | p ₃ | -0,51946 | F _{r3} | 19,37 |
| | Adekvatnost | | | F _a |
| Model sa međusobnim uticajem | C | 356,2331 | F _{r0} | 132,79 |
| | p ₁ | 3,44868 | F _{r1} | 7,46 |
| | p ₂ | 8,05172 | F _{r2} | 30,29 |
| | p ₃ | -1,48632 | F _{r3} | 14,59 |
| | p ₁₁ | -1,48385 | F _{r11} | 1,65* |
| | p ₂₂ | 2,37237 | F _{r22} | 3,63* |
| | p ₃₃ | 0,40852 | F _{r33} | 1,17* |
| | p ₁₂ | -0,03158 | F _{r12} | 0,00* |
| | p ₁₃ | -2,08361 | F _{r13} | 6,61 |
| | p ₂₃ | -0,51752 | F _{r23} | 0,38* |
| Adekvatnost | | | F _a | 3,01016 |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.1.14. Model ugla nagiba teksture zrna pri obimnom glodanju SSM legure

Trofaktorni model drugog reda za ugao nagiba teksture zrna pri obimnom glodanju u zavisnosti od brzine rezanja (v), pomaka po zubu (s_1) i širine glodanja (b) je sledećeg oblika:

$$\psi = C v^{p_1} s_1^{p_2} b^{p_3} \exp \left[\begin{array}{l} p_{11} (\ln v)^2 + p_{22} (\ln s_1)^2 + p_{33} (\ln b)^2 + \\ + p_{12} \ln v \ln s_1 + p_{13} \ln v \ln b + p_{23} \ln s_1 \ln b \end{array} \right] \quad (4.15)$$

U tabeli 4.27. date su izmerene i računске vrednosti eksperimenta za model prvog i drugog reda, a u tabeli 4.28. dati su rezultati ocene signifikantnosti i adekvatnosti modela.

Tabela 4.27. Izmerene i računске vrednosti

| Redni broj | Izmerene vrednosti | Računske vrednosti | |
|------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Ugao nagiba teksture zrna ψ , ° | Model bez međusobnog uticaja | Model sa međusobnim uticajem |
| 1 | 22 | 20,15 | 24,45 |
| 2 | 30 | 18,98 | 44,33 |
| 3 | 19 | 17,60 | 33,56 |
| 4 | 16 | 16,58 | 27,53 |
| 5 | 18 | 18,31 | 7,90 |
| 6 | 20 | 17,25 | 8,55 |
| 7 | 19 | 15,99 | 9,71 |
| 8 | 7 | 15,07 | 4,76 |
| 9 | 22 | 17,41 | 11,96 |
| 10 | 11 | 17,41 | 11,96 |
| 11 | 8 | 17,41 | 11,96 |
| 12 | 19 | 17,41 | 11,96 |
| 13 | 24 | 18,44 | 17,13 |
| 14 | 19 | 16,44 | 15,09 |
| 15 | 16 | 19,95 | 16,76 |
| 16 | 17 | 15,21 | 12,84 |
| 17 | 13 | 19,15 | 78,19 |
| 18 | 20 | 15,83 | 4,50 |
| 19 | 13 | 18,44 | 17,13 |
| 20 | 20 | 16,44 | 15,09 |
| 21 | 15 | 19,95 | 16,76 |
| 22 | 23 | 15,21 | 12,84 |
| 23 | 24 | 19,15 | 78,19 |
| 24 | 25 | 15,83 | 4,50 |

Tabela 4.28. Ocena signifikantnosti i adekvatnosti modela

| Model | Koeficijenti | | | | |
|------------------------------|-----------------|-------------|------------------|----------------|---------|
| | Regresije | | Signifikantnosti | | |
| | Oznaka | Vrednosti | Oznaka | Vrednosti | |
| Model bez međusobnog uticaja | C | 11,6857 | F _{t0} | 1097,09 | |
| | p ₁ | -0,12535 | F _{r1} | 0,08 | |
| | p ₂ | -0,29519 | F _{r2} | 0,41 | |
| | p ₃ | -0,11534 | F _{r3} | 0,21 | |
| | Adekvatnost | | | F _a | 0,69788 |
| | | | | | |
| Model sa međusobnim uticajem | C | 49652548,75 | F _{t0} | 155,82 | |
| | p ₁ | -10,84092 | F _{r1} | 0,06 | |
| | p ₂ | 8,33216 | F _{r2} | 0,33 | |
| | p ₃ | -0,75811 | F _{r3} | 0,16 | |
| | p ₁₁ | 1,41977 | F _{r11} | 0,34 | |
| | p ₂₂ | 0,96922 | F _{r22} | 0,14 | |
| | p ₃₃ | 0,66356 | F _{r33} | 0,70 | |
| | p ₁₂ | -3,65009 | F _{r12} | 1,41 | |
| | p ₁₃ | -1,30900 | F _{r13} | 0,59 | |
| | p ₂₃ | -0,29030 | F _{r23} | 0,03 | |
| | Adekvatnost | | | F _a | 0,27939 |
| | | | | | |

Napomena:

Za signifikantnost: $F_n > F_t = 6,61$

Za adekvatnost: $F_a < F_t = 4,47$

(*) - Nesignifikantni parametri

4.2. Realizacija modela uz pomoć metoda veštačke inteligencije

Realizacija modela primenom alata na bazi veštačke inteligencije je izvršena pomoću programa koji u svojoj strukturi poseduju veštačke neuronske mreže i fazi logiku (mamdani model). Za obuku spomenutih sistema su korišteni eksperimentalni podaci faktornog plana eksperimenta, ranije tabele 3.8 i 3.9. s tim da su eliminisani redovi koji se ponavljaju. Razlog za eliminaciju ponovljenih redova je što sistemi veštačke inteligencije ne mogu adekvatno da prepoznaju dva različita podatka za istovetne ulazne parametre, tako da se za redove koji se ponavljaju pri obuci uzima srednja vrednost izmerenih veličina.

Podaci za obuku modela na bazi VNM i fazi logike pri čeonom glodanju, su dobijeni tako što su eliminisani eksperimentalni rezultati za merenja koja se ponavljaju u faktornom planu eksperimenta (vidi tabele br.3.8 i 3.9), a lista je proširena sa novim podacima dobijenim tokom merenja Tagučić niza $L_9(3^4)$. Na taj način je dobijen set od 21 eksperimenta. Za obimno glodanje nije izvršeno proširenje, shodno tome jer faktor sabijanja strugotine nije analiziran uz pomoć Tagučić metode. Shodno tome, podaci za obuku modela na bazi VNM i fazi logike pri obimnom glodanju, su dobijeni tako što su eliminisani eksperimentalni rezultati za merenja koja se ponavljaju u faktornom planu eksperimenta (vidi tabele br.3.8 i 3.9).

U tabeli 4.29 i tabeli 4.30 su date vrednosti sa kojima su obučavani modeli na bazi neuronske mreže i fazi logike, pri čeonom odnosno pri obimnom glodanju za legure livene na različita načina.

Tabela 4.29. Plan eksperimentalnih ispitivanja sa izmerenim vrednostima za proces obuke modela neuronskih mreža i modela zasnovanih na fazi logici pri čeonom glodanju

| Redni broj | Faktor | | | Izmerene vrednosti KL legura aluminijuma | | | | | Izmerene vrednosti SSM legura aluminijuma | | | | |
|------------|--------|-----------------------|-------|--|--------------------|-------|---------------------|-----------------------|---|--------------------|-------|---------------------|-----------------------|
| | v, m/s | s ₁ , mm/z | a, mm | F _g , N | F _p , N | θ, C° | R _a , μm | R _{max} , μm | F _g , N | F _p , N | θ, C° | R _a , μm | R _{max} , μm |
| 1 | 2,93 | 0,112 | 0,75 | 113 | 92 | 46 | 1,074 | 8,39 | 119 | 106 | 54 | 0,657 | 5,07 |
| 2 | 4,71 | 0,112 | 0,75 | 108 | 87 | 52 | 1,081 | 7,62 | 124 | 93 | 59 | 0,666 | 4,51 |
| 3 | 2,93 | 0,177 | 0,75 | 148 | 120 | 53 | 1,743 | 11,4 | 163 | 134 | 60 | 0,909 | 6,89 |
| 4 | 4,71 | 0,177 | 0,75 | 160 | 131 | 56 | 1,645 | 12,3 | 186 | 135 | 67 | 0,815 | 7,97 |
| 5 | 2,93 | 0,112 | 1,72 | 251 | 219 | 60 | 1,058 | 7,49 | 255 | 215 | 66 | 0,765 | 5,63 |
| 6 | 4,71 | 0,112 | 1,72 | 238 | 138 | 67 | 1,023 | 6,79 | 255 | 225 | 85 | 0,472 | 4,12 |
| 7 | 2,93 | 0,177 | 1,72 | 351 | 281 | 70 | 1,898 | 11,7 | 357 | 289 | 77 | 0,869 | 6,63 |
| 8 | 4,71 | 0,177 | 1,72 | 342 | 273 | 77 | 1,734 | 10,4 | 366 | 301 | 87 | 0,632 | 5,78 |
| 9 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 198 | 167 | 60 | 1,205 | 7,98 | 218 | 187 | 60 | 0,604 | 5,61 |
| 10 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 198 | 156,5 | 54 | 1,133 | 7,085 | 225 | 157,5 | 60 | 0,766 | 5,935 |
| 11 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 206 | 166,5 | 65 | 1,244 | 7,855 | 224 | 182,5 | 73 | 0,505 | 4,465 |
| 12 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 156,5 | 131 | 55 | 0,995 | 6,585 | 175 | 140 | 60,5 | 0,624 | 3,395 |
| 13 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 262 | 202,5 | 66 | 2,522 | 13,8 | 275,5 | 238,5 | 79,5 | 1,048 | 7,62 |
| 14 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 101 | 89,5 | 47 | 1,242 | 7,835 | 109,5 | 92 | 52 | 0,796 | 5,485 |
| 15 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 401 | 343,5 | 76,5 | 1,229 | 7,88 | 444,5 | 367 | 91,5 | 1,007 | 6,565 |
| 16 | 2,35 | 0,089 | 0,5 | 85 | 64 | 51 | 0,915 | 7,06 | 85 | 79 | 55 | 0,817 | 5,9 |
| 17 | 2,35 | 0,223 | 2,6 | 564 | 462 | 108 | 1,705 | 10,5 | 631 | 485 | 115 | 1,259 | 7,91 |
| 18 | 3,71 | 0,223 | 0,5 | 128 | 96 | 66 | 2,023 | 12,2 | 145 | 108 | 70 | 1,303 | 8,78 |
| 19 | 5,86 | 0,089 | 2,6 | 328 | 283 | 98 | 0,969 | 6,37 | 332 | 287 | 106 | 0,731 | 5,6 |
| 20 | 5,86 | 0,141 | 0,5 | 138 | 92 | 66 | 1,258 | 7,81 | 137 | 112 | 69 | 1,048 | 7,48 |
| 21 | 5,86 | 0,223 | 1,14 | 293 | 233 | 94 | 1,94 | 11,1 | 305 | 238 | 98 | 1,257 | 8,47 |

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.30. Plan eksperimentalnih ispitivanja sa izmerenim vrednostima za proces obuke modela neuronskih mreza i modela zasnovanih na fazi logici pri obimnom glodanju

| Redni broj | Faktor | | | Izmerene vrednosti KL legura Al | Izmerene vrednosti SSM legura Al |
|------------|-----------|--------------------------|----------|------------------------------------|-------------------------------------|
| | v, m/s | s ₁ , mm/z | a, mm | λ | λ |
| 1 | 2,93 | 0,112 | 0,75 | 2,44 | 2,75 |
| 2 | 4,71 | 0,112 | 0,75 | 2,87 | 4,65 |
| 3 | 2,93 | 0,177 | 0,75 | 1,98 | 3,04 |
| 4 | 4,71 | 0,177 | 0,75 | 1,57 | 2,46 |
| 5 | 2,93 | 0,112 | 1,72 | 2,38 | 5,69 |
| 6 | 4,71 | 0,112 | 1,72 | 3,25 | 2,04 |
| 7 | 2,93 | 0,177 | 1,72 | 1,72 | 2,49 |
| 8 | 4,71 | 0,177 | 1,72 | 2,89 | 1,84 |
| 9 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 3,13 | 2,65 |
| 10 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 3,18 | 4,54 |
| 11 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 2,56 | 2,7 |
| 12 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 2,03 | 9,85 |
| 13 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 2,1 | 2,84 |
| 14 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 2,22 | 7,98 |
| 15 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 2,17 | 2,86 |

Tabela 4.31., sa izdvojenim eksperimentalnim podacima, je služila za test pri daljoj analizi dobijenih modela.

Tabela 4.31. Eksperimentalni podaci za testiranje modela veštačke inteligencije

| Redni broj | Faktor | | | Izmerene vrednosti KL legura aluminijuma | | | | | | Izmerene vrednosti SSM legura aluminijuma | | | | | |
|------------|-----------|--------------------------|--------------|---|-----------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------|--|-----------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------|
| | v, m/s | s ₁ , mm/z | a / b, mm | F _g , N | F _p , N | θ , C° | R _a , μ m | R _{max} , μ m | λ | F _g , N | F _p , N | θ , C° | R _a , μ m | R _{max} , μ m | λ |
| 1 | 3,71 | 0,141 | 0,75 | 154 | 115 | 51 | 1,222 | 8,29 | 2,59 | 149 | 110 | 60 | 0,737 | 7,6 | 2,69 |
| 2 | 3,71 | 0,141 | 1,72 | 261 | 237 | 69 | 1,28 | 7,83 | 2,02 | 308 | 268 | 77 | 0,839 | 5,07 | 2,71 |
| 3 | 3,71 | 0,112 | 1,14 | 181 | 121 | 55 | 1,037 | 6,6 | 2,87 | 190 | 141 | 61 | 0,605 | 4,63 | 3,68 |
| 4 | 3,71 | 0,177 | 1,14 | 238 | 173 | 62 | 1,583 | 12,3 | 1,9 | 223 | 207 | 70 | 0,709 | 5,5 | 2,81 |
| 5 | 2,93 | 0,141 | 1,14 | 210 | 141 | 57 | 1,263 | 8,08 | 2,73 | 237 | 182 | 61 | 1,075 | 7,33 | 3,49 |
| 6 | 4,71 | 0,141 | 1,14 | 221 | 179 | 60 | 1,734 | 8,44 | 2,28 | 227 | 182 | 71 | 0,509 | 3,97 | 3,66 |

Obrada podataka izvršena je za glavnu silu rezanja F_g, silu prodiranja F_p, temperaturu u zoni rezanja θ , kao i za dve mere hrapavosti obrađene površine, srednju aritmetičku hrapavost obrađene površine R_a i maksimalnu visinu neravnina obrađene površine R_{max}, kao i za faktor sabijanja strugotine λ , dok modeliranje ugla nagiba teksture zrna ψ nije vršilo iz razloga neznačajnosti sva tri ulazna faktora kod oba materijala. Ova neznačajnost ugla nagiba teksture zrna ψ je utvrđena na osnovu disperzione analize modela faktornog plana eksperimenta. Razlog neuspeha modelovanja ugla nagiba teksture zrna treba tražiti u samom obliku zrna, odnosno

njegovoj amorfnosti. Podaci sa izlaznim veličinama F_g , F_p , θ , R_a , R_{max} i λ su obrađeni kako za leguru aluminijuma koja je konvencionalno livena (KL) tako i za leguru SSM dobijenu novim načinom livenja.

Za obučavanje neuronskih mreža i modela fazi logike korišćen je programski jezik „MatLab“. MATLAB je moćan programski jezik za tehničke proračune. Ime je dobio od reči MATrična LABORatorija (engl. *matrix laboratory*), pošto mu je osnovni element podataka matrica (niz). MATLAB se može koristiti za matematička izračunavanja, modeliranje i simulacije, analizu i obradu podataka, grafičko prikazivanje rezultata i razvoj algoritama. MATLAB je široko rasprostranjen na univerzitetima i višim školama, na uvodnim i naprednim kursevima iz matematike, prirodnih nauka i inženjerskih oblasti. Velika prednost MATLAB-a i ono što ga razlikuje od mnogih drugih kompjuterskih sistema za programiranje, kao što su C++ i JAVA, a to je da se može koristiti interaktivno. To znači da ako se ukuca neka komanda istog momenta se dobija odgovor. U industriji se ovaj program upotrebljava za istraživanje, razvoj i projektovanje. Standardni MATLAB sadrži alatke (funkcije) za rešavanje uobičajenih zadataka. Pored toga, MATLAB sadrži i opcione alatke – kompletne specijalizovanih programa za rešavanje specifičnih tipova zadataka. On podržava neke osnovne programske strukture koje dozvoljavaju petlje i uslovne komande sa relacijskim i logičkim operatorima. Sintaksa i korišćenje nekih od ovih struktura su veoma slične strukturama u drugim programskim jezicima, kao što je C, BASIC ili FORTRAN. Ove naredbe sa već pomenutim mogu formirati programe ili nove funkcije koje mogu biti dodate MATLAB-u.

MATLAB pored svojih prvenstveno razvojnih i programabilnih mogućnosti poseduje još jednu zaista moćnu alatku koja je jedna od osnovnih odlika ovog paketa. To su *toolboxovi*. Naime, vrlo jednostavno se u MATLAB-u mogu kreirati sopstvene funkcije koje daju rešenja na postavljene zahteve. Skup ovako kreiranih funkcija (*m-fajlova*) objedinjenih u jednu celinu predstavlja osnovnu strukturu toolboxa. Toolboxovi dakako predstavljaju mnogo više od kolekcije upotrebljivih fajlova, jer je u njima objedinjen trud velikih svetskih istraživača u raznim područjima nauke.

4.2.1. Realizacija neuronske mreže

Neural Network Toolbox obezbeđuje kompletni inženjering neuronske mreže u MATLAB okruženju počevši od dizajna preko treninga do simulacije raznih algoritama neuronskih mreža koji su u MATLAB-u prezentovani počev od osnovnog modela Perceptrona pa do najsloženijih tzv. samoorganizujućih mreža.

Obuka i testiranje su najvažnije osobine neuronske mreže zato što upravo obuka i testiranje određuju njene karakteristike. Prilikom obuke prvi korak je unošenje pitanja na koja znamo odgovor. Mreža odgovara na pitanje, a odgovor se upoređuje sa tačnim odgovorom. Zatim, težina veza između individualnih neurona se menja dok mreža ne da tačan odgovor na postavljeno pitanje. Ovaj postupak se ponavlja sve dok veštačka neuronska mreža nije adekvatno obučena.

Očekivani rezultat je stvaranje neuronske mreže koja može da odgovori na pitanje za koje ne postoji poznat odgovor. Tačnost odgovora se zatim proverava postavljanjem drugih pitanja na koja se zna odgovor. Obuka će odrediti da li neuronska mreža može da pruži očekivani odgovor, ako to ne može pristupa se ponovnoj obuci mreže. Ovaj proces se ponavlja dok mreža ne pruži zadovoljavajuće rezultate. Proces obuke mreže ne treba da prođe kroz prevelik broj faza jer će tako zbog prezasićenosti izgubiti svoju sposobnost generalizacije. Mreža sakuplja sve više i više detalja iz podataka za obuku koji nisu relevantni za rezultate testa. Ovo može povećati učestalost

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

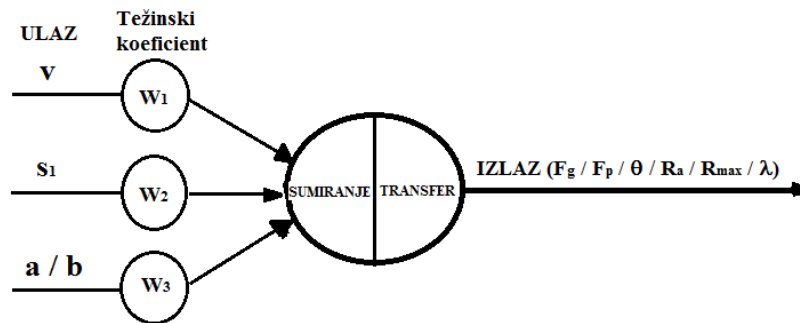
greške kod određenih podataka koji se unose u mrežu, a mreža gubi svoju sposobnost generalizacije koja je neophodna za dobar rad mreže.

Kreiranje neuronske mreže

Za kreiranje i obuku neuronske mreže u samom MatLab-u koriscen je Neural Network Toolbox. Kao i drugi MATLAB paketi, Neural Network Toolbox preuzima veći deo rutinskog posla tako da korisnik može da se skoncentriše na suštinske probleme. NNT daje više mogućnosti za korišćenje MATLAB paketa. Dostupni su alati za kreiranje, vizeualizaciju, realizaciju i simulaciju različitih mreža.

Pre samog kreiranja neuronske mreže vrši se unos podataka u *Command Window* u vidu matričnog oblika. Podaci u vidu matrica dati su na samom kraju ovog rada.

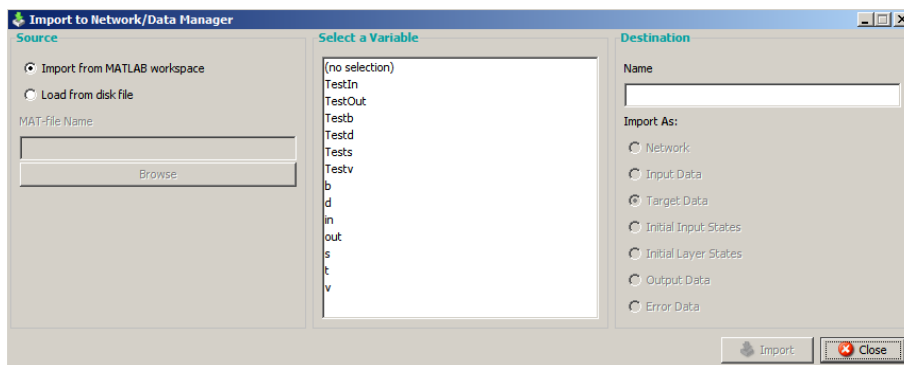
Za ulazne podatke koriste se brzina rezanja v (m/s), pomak po zubu s_1 (mm/z), dubina rezanja a (mm) odnosno širina glodanja b (mm). Ove ulazne veličine su grupisane u jednu celinu koja je nazvana $IN=(v, s_1, a)$, odnosno kod obimnog glodanja $IN=(v, s_1, b)$. Izlazne veličine $F_g, F_p, Q, R_a, R_{max}$ i λ , nisu grupisane već je za svaku pojedinačno napravljena nova mreža. Shodno tome, modeli koji su napravljeni su bili tipa 3-1, tri ulaza - jedan izlaz, slika 4.1.



Slika 4.1. Model formiranih neuronskih mreža

Kreiranje se vrši u *Create New Network* prozoru do kog se dolazi kucanjem komande *nntool* u *Command Window* prozoru ili preko toolbox-a *Start=>Toolboxes=>Neural Networks=>Neural Network Tools*.

Nakon toga na ekranu se otvara interfejs sa prozorom *Network/Date manager*. Pomoću ovog prozora kompletno se definiše neuronska mreža: tip mreže, ulazni parametri, izlazni parametri, te se obavlja treniranje i simulacija. Uz pretpostavku da se zna koja vrsta mreže će biti korišćena potrebno je definisati podatke sa kojima će mreža raditi, slika 4.2.

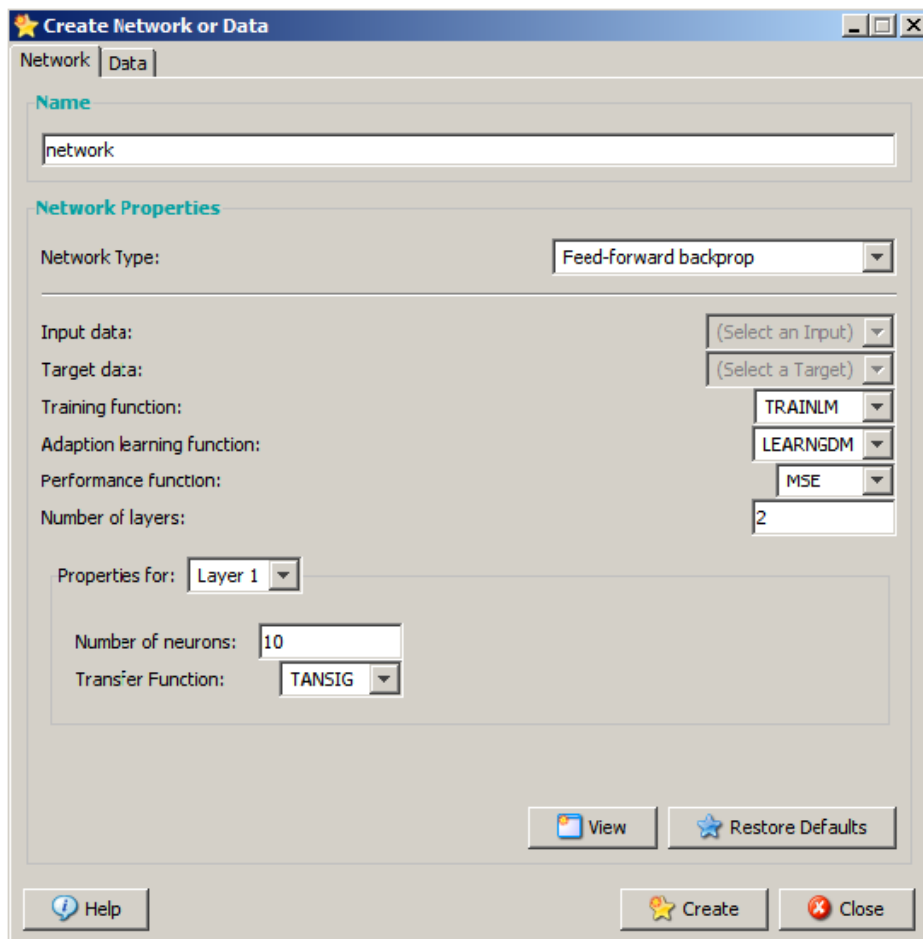


Slika 4.2. Prozor Import to Network/Date Manager

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Potrebno je odrediti o kojem se tipu podataka radi (ulazni, izlazni, test..., greška). U središnjem prozoru se izaberu željeni podatci koji se očitavaju iz *workspace*-a. Pritiskom na *Import* potvrđuje se ispravnost podataka. Promene će se videti i u glavnom prozoru *nntool*-a.

Sledi izbor vrste neuronske mreže, slika 4.3.



Slika 4.3. Izbor neuronske mreže

U ovom prozoru se bira vrsta neuronske mreže. Zavisno od vrsti mreže izgled prozora se menja. Karakteristična polja su ime mreže, ulazni raspon, trenirajuća funkcija, funkcija učenja, transfer funkcija. Izabrana je feed-forward, backpropagation mreža.

Ova mreža je izuzetno pogodna za primenu zbog svoje strukture i načina obuke. Vrlo je efikasna i u kratkom vremenu daje željene rezultate. Korišćene su sledeće funkcije i setovi metoda za obuku:

Training Function - TRAINLM

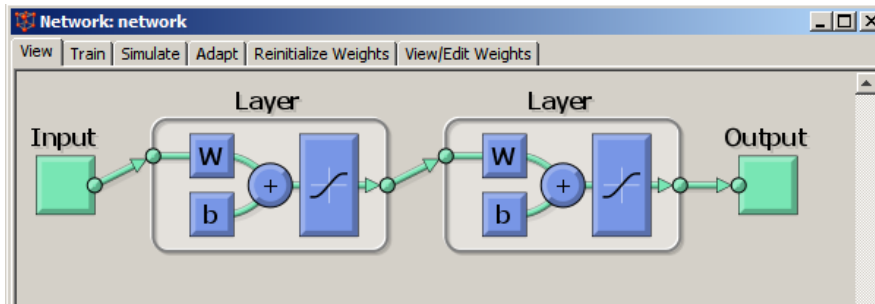
Adaption Learning Funkcion - primenjena je *LEARNGDM* funkcija učenja za backpropagation/bias

Performance - (primenjena je srednja kvadratna vrednost greške, *Mean Square Error* - *MSE*)

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Transfer Function - odabrana mreža ima skriveni sloj koji ima 10 neurona i aktivaciona funkcija je *TANSIG*. Izlazni sloj ima dva neurona i *PURELIN* aktivacionu funkciju. Tansig je sigmoidna, a purelin linearna funkcija.

Nakon što su namešteni parametri na željene vrednosti formira se neuronska mreža, slika 4.4.

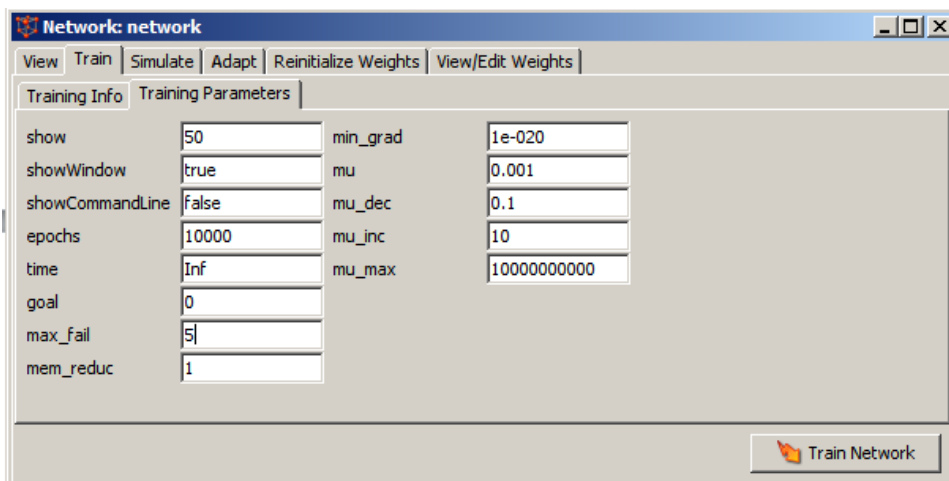


Slika 4.4. Prozor kreirane neuronske mreže

Treniranje i testiranje neuronske mreže

Nakon kreiranja neuronske mreže prelazi se na treniranje mreže i simulacije. Za treniranje mreže potrebno je uneti ulazne vrednosti i željeni izlaz. Takođe moguće je definisati izlazne varijable u koje će se zapisivati vrednosti izlaza, odnosno greške za vreme treniranja.

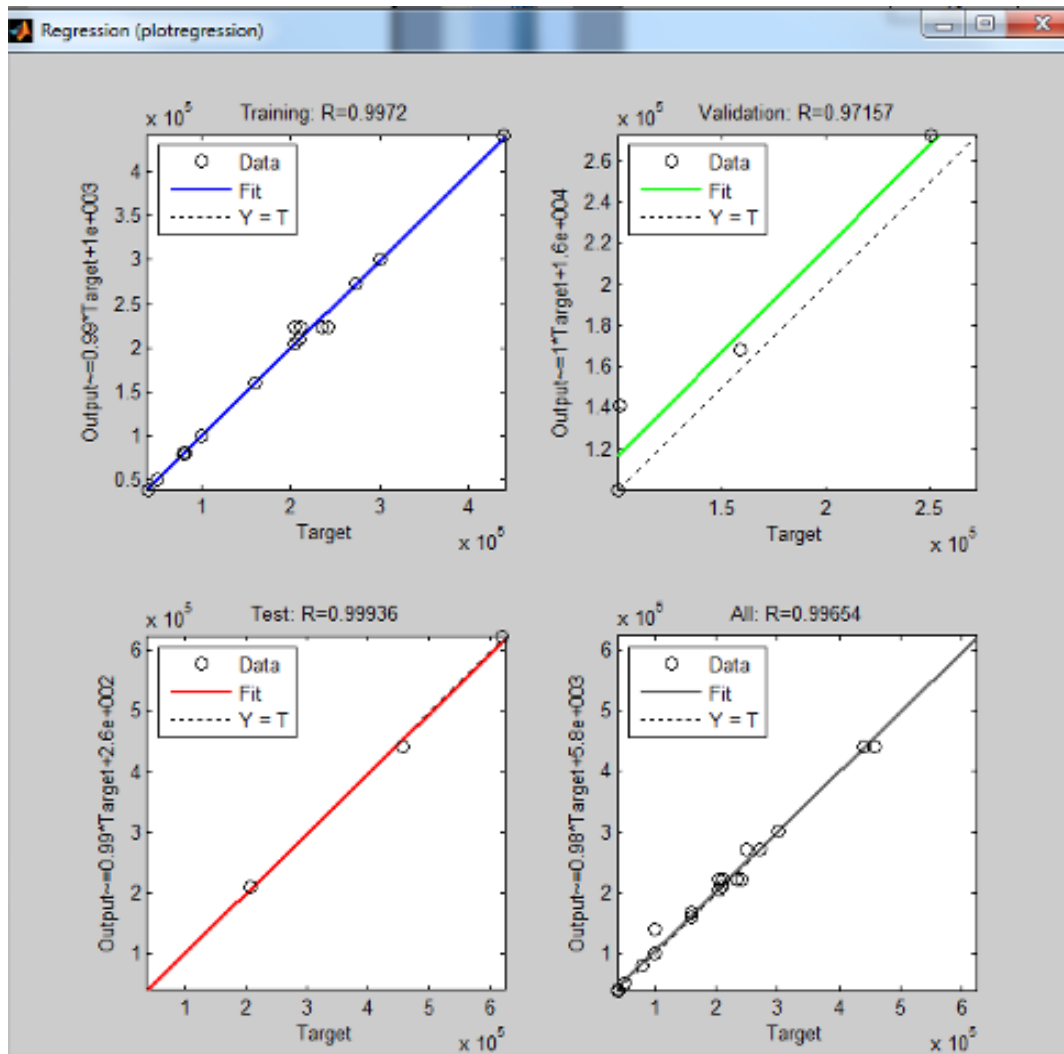
Dodatno je potrebno podesiti *Training Parameters*, slika 4.5. Tu se vrši podešavanje broja epoha, dozvoljena greška, vreme učenja i slično. Zavisno od vrste mreže parametri treniranja su različiti. Pritiskom na *Train Network* mreža se trenira. Kao rezultat treniranja dobijaju se grafici koji pokazuju učenje mreže kroz zadani broj epoha.



Slika 4.5. Podešavanje parametara treniranja neuronske mreže

Vreme trajanje treniranja mreže određuje sam kreator mreže, na osnovu iskustva. Slika 4.6. prikazuje dijagram regresije u procesu obuke neuronske mreže, gde se kao cilj postavlja da vrednost koeficijent regresije bude bliska broju 1 (jedan), linije regresije treba da budu pod uglom od 45° , dok većina podataka sa kojima se obučava mreža treba da budu uz samu liniju regresije.

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

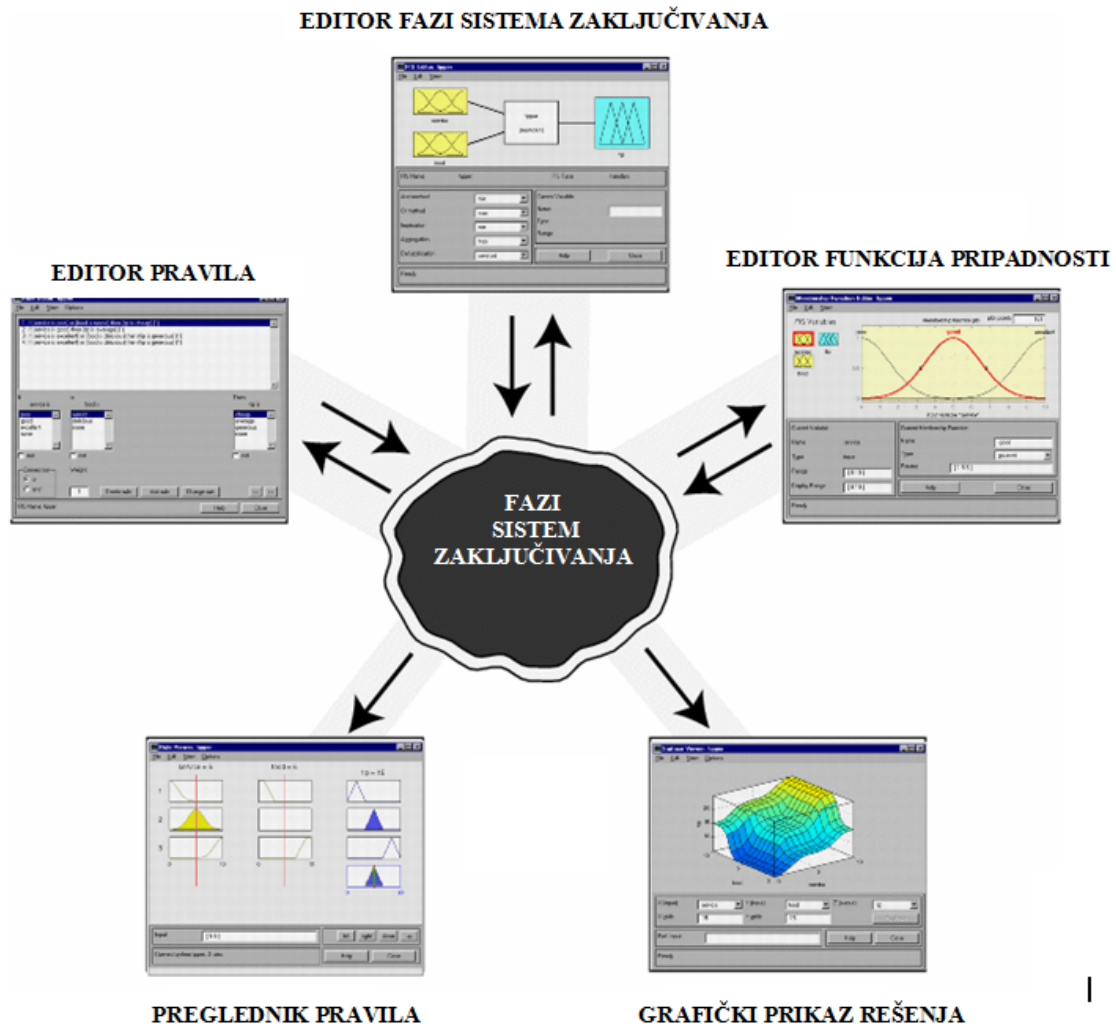


Slika 4.6. Dijagram regresije u procesu obuke neuronske mreže

Završetkom treniranja mreže može se obaviti simulacija rada neuronske mreže. Potrebno je definisati ulaze (TestIn) za mrežu. Preko komande *Simulate Network* obavlja se simulacija. Pregledom dobijenih rezultata (Test_outputs) koji se generiše u nntool-u, proverava se ispravnost rada mreže.

4.2.2. Realizacija modela fazi logike - „mamdani“ tip

Fazi sistem zaključivanja sastoji se od pet prozora, od kojih se tri koriste za uređivanje fazi sistema zaključivanja, a to su editor fazi sistema zaključivanja, editor funkcija pripadnosti i editor pravila, dok su preostala dva preglednik pravila i grafički prikaz rešenja, koriste samo za posmatranje uređenog sistema, slika 4.7.



Slika 4.7. Fazi sistem zaključivanja [100]

Fazi sistem se može započeti na dva načina: kucanjem naredbe **fuzzy**, na komandnu liniju, ili `start > toolboxes > fuzzy logic > FIS editor viewer`.

FIS – Fuzzy Inference System – Fazi sistem zaključivanja

Osnovna uloga *FIS editor*-a je definisanje broja ulaza, imena ulaznih i izlaznih promenljivih, izbor tipa zaključivanja (mamdani ili sugeno). Mamdani tip podrazumeva da su jezičke vrednosti izlazne promenljive regularni fazi skupovi. Izbor fazi regulatora tipa Sugeno podrazumeva da su jezičke vrednosti izlazne varijable fazi skupovi tipa singleton.

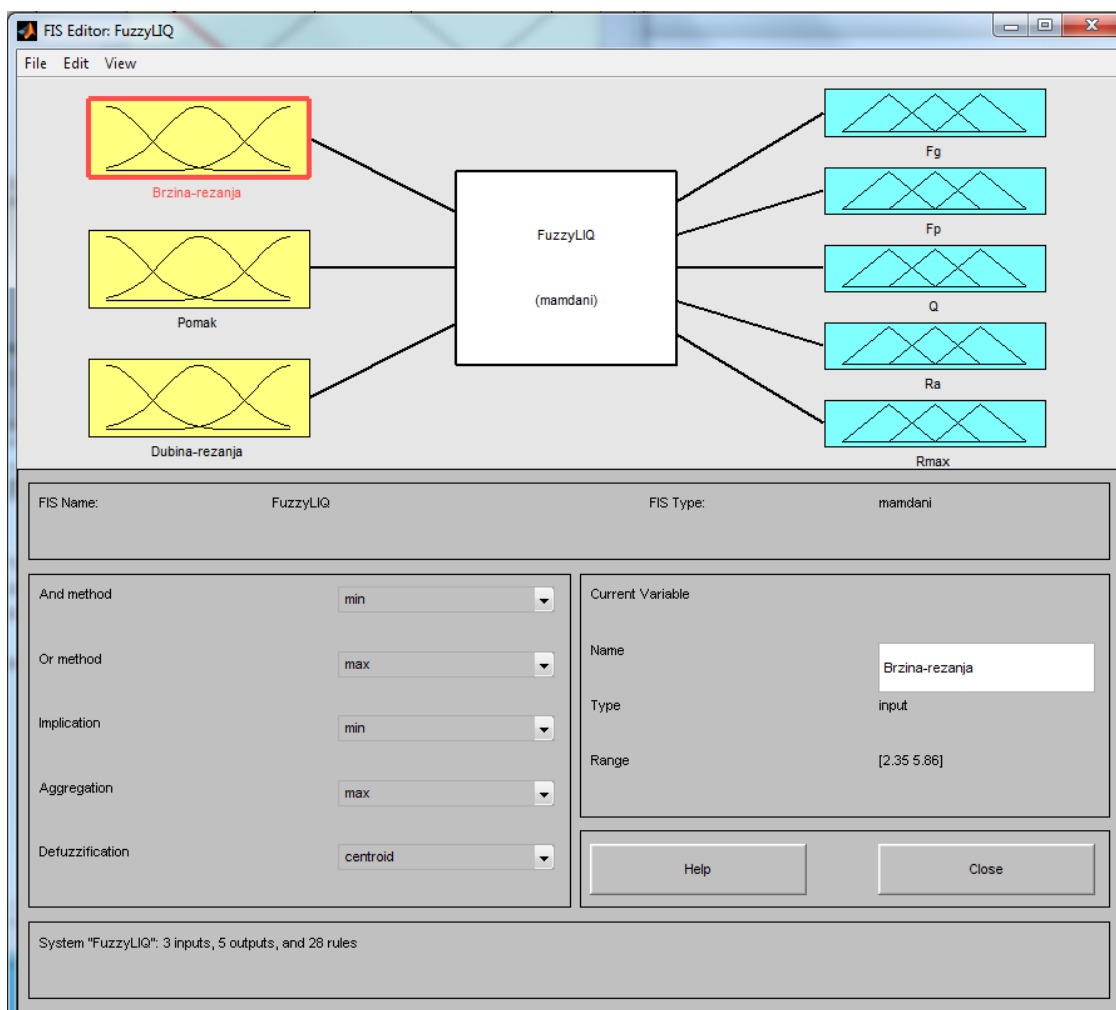
Posle pokretanja fazi sistema na ekranu će se pojaviti prozor *FIS Editor* sa jednim ulazom (oznaka *input1*) i jednim izlazom (oznaka *input2*). U postavljenom zadatku postoje tri ulazne promenljive (brzina, pomak, dubina rezanja, odnosno širina glodanja) i pet izlaznih promenljivih (F_g , F_p , Q , R_a , R_{max}) pri čeonom glodanju (za svaki tip legure jedan model), odnosno dve izlazne promenljive λ (za oba materijala jedan model) pri obimnom glodanju. Nakon izvršene komande `Edit > Add variable > Input`, fazi sistem će imati izgled prema slici 4.8. Dodavanje ulaza se

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

izvršava tako što se selektuje **Edit > Add variable > Input** (ovaj korak se ponavlja tri puta, pošto postoje tri ulazne promenljive). Na sličan način se dodaju i izlazi u modelu.

MFE - Membership Function Editor – Editor funkcija pripadnosti

MFE je alat koji omogućava prikaz i izmenu svih funkcija pripadnosti, ulaznih i izlaznih promenljivih za ceo sistem fazi zaključivanja. Nakon definisanja promenljivih fazi sistema, sledi definisanje funkcija pripadnosti za svaku promenljivu. MFE se može otvoriti na dva načina, prvi je pisanjem naredbe na komandnu liniju *mfedit*, drugi način pomoću komande u padajućem meniju *FIS editor*-a, selektovanjem **Edit > Membership Functions**. Pre nego što se definišu funkcije pripadnosti za promenljive, moraju se izbrisati već postojeće (po *default*-u) funkcije pripadnosti pomoću komande **Edit > Remove All MFs**.



Slika 4.8. Editor fazi sistema zaključivanja

Tipovi f-ja pripadnosti u glavnom se prikazuju u parametarskoj formi. Mogu biti: trougaone (*trimf*), trapezoidne (*trapmf*), zvonaste (*gbellmf*), gausove (*gaussmf*), dvostruke gausove (*gauss2mf*), sigmoidne (*sigmf*) itd. Detaljan opis funkcija pripadnosti je objašnjen u poglavlju 2.0.

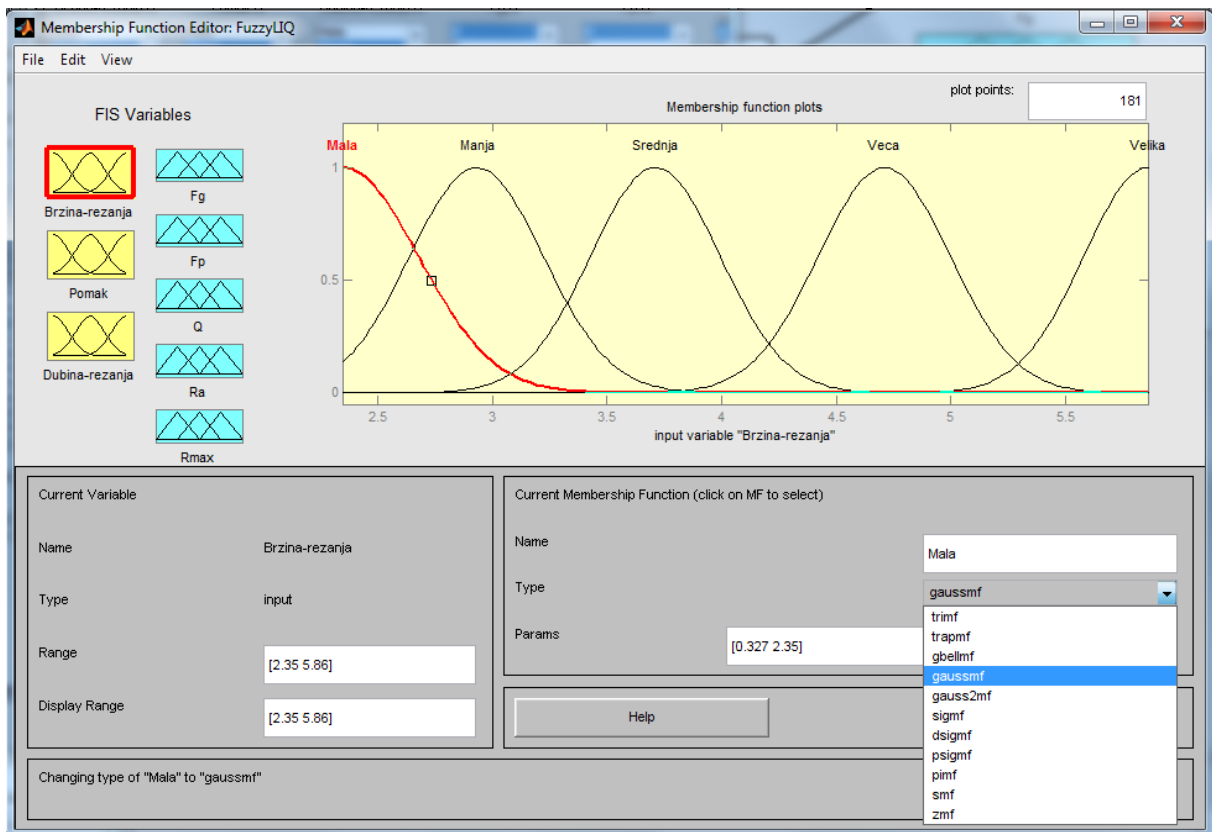
Proces definisanja funkcija pripadnosti za promenljive je prikazan u sledećim koracima:

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

1. Selektuje se ulazna promenljiva **brzina**, duplim klikom na nju, unosi se rang [2.35÷5.86]
2. Selektuje se **Remove All MFs** u *Edit* meniju, briše sve postojeće funkcije pripadnosti
3. Selektuje se **Add MFs** u *Edit* meniju i otvora se sledeći prozor:
4. Izabere se **gaussmf** (4.46), u polje *Number of MFs* unosi se broj 5, pošto ima pet f-ja pripadnosti (**Mala, Manja, Srednja, Veća, Velika**)

$$f(x; \sigma, c) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.16)$$

5. Selektovanjem prve funkcije pripadnosti vrši se njeno podešavanje, odnosno definiše se njeno ime, pa će prva f-ja pripadnosti počevši sa leve strane biti **Mala**, ovaj postupak ponavlja se za sve funkcije. Podešavanje oblika f-ja pripadnosti se izvodi na dva načina, prvi je pomoću miša, a drugi je da se unesu željeni parametri preko tastature, slika 4.9.



Slika 4.9. Izbor funkcija pripadnosti

Isti princip se primenjuje i za ostale tri ulazne promenljive.

Kreiranje f-je pripadnosti za izlaznu promenljivu vrši se na sličan način kao i za ulazne promenljive. Na osnovu eksperimenta, ako se uzme jedan od modela kod čeonog glodanja, na primer glavna sila razanja F_g kod KL legura, potrebno je dvadeset i jednu vrednost izlaznih vrednosti razvrstati u jedanaest skupova.

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Za svaki skup definiše se posebna funkcija pripadnosti, pa se ponavlja korak 4. izbor funkcije je *gaussmf*, a broj funkcija pripadnosti je jedanaest. Za f-ju pripadnosti A, odnosno za dati skup glavna sila rezanja izabran je parametar 85 da predstavlja sredinu f-je pripadnosti odnosno njegova pripadnost skupu A je 1. Isti princip je primenjen i na preostale funkcije pripadnosti od skupa B pa do skupa K, slika 4.10.

Za formiranje pravila, radi lakšeg unošenja i kontrolisanja pravila, koristi se modifikovana tabela 3.5 u relacionoj formi, gde je kod lingvističkih promenljivih:

Mala zamenjen brojem **-1.41**,

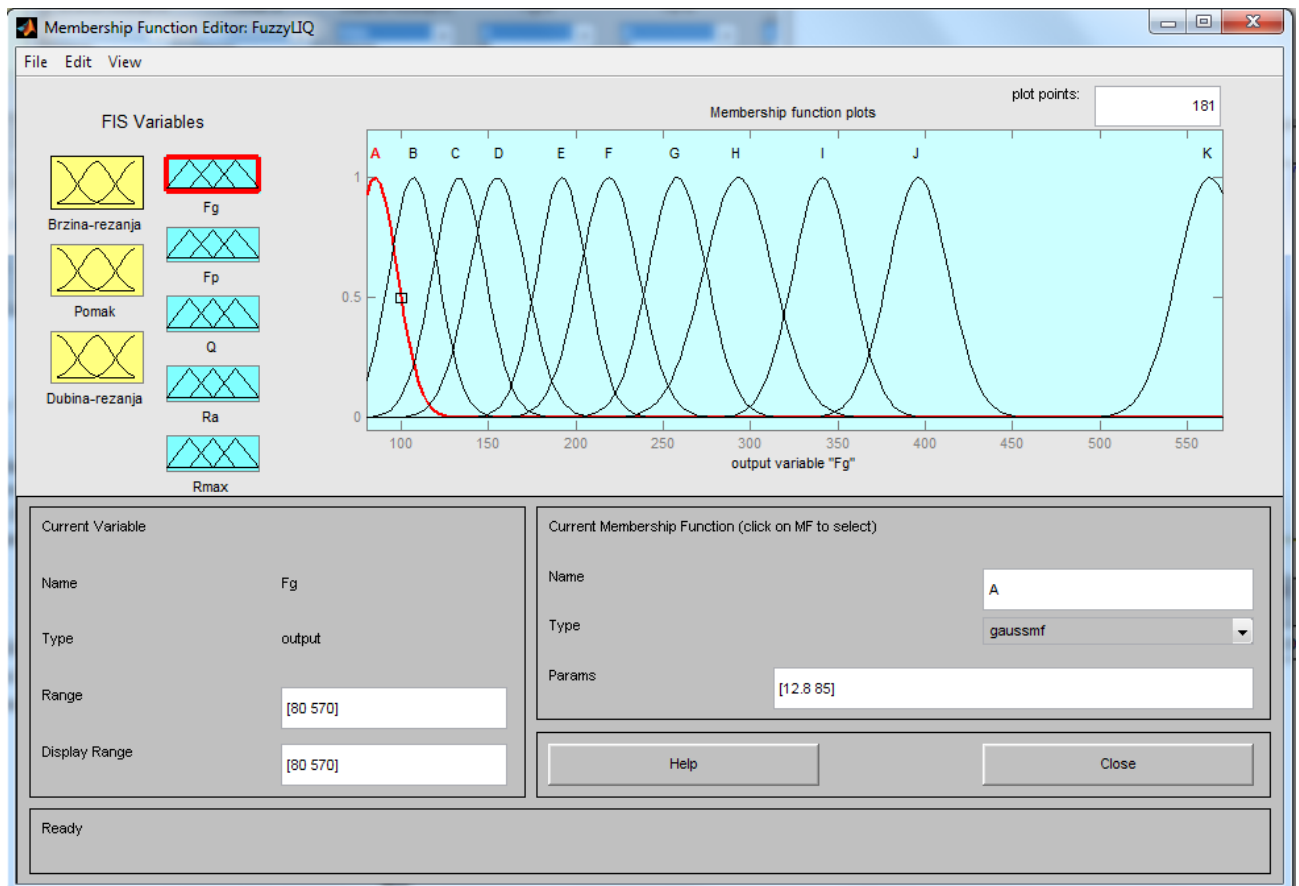
Manja brojem **-1**,

Srednja brojem **0**,

Veća brojem **1** i

Velika brojem **1.41**.

Pravila su definisana na osnovu eksperimentalnih rezultata.



Slika 4.10. F-je pripadnosti za glavnu silu rezanja F_g

Pravila se generišu na sledeći način, npr. za pravilo pod rednim brojem 1, prema tabeli 4.32. Na osnovu definisanih pravila dobijaju se sledeći kodovi:

- za brzinu kod je: **-1** → **manja**,
- za pomak kod je: **-1** → **manja**,
- za dubinu kod je: **-1** → **manja**.

Shodno tome konačno prafilo razumljivo za sistem fazi logike glasi:

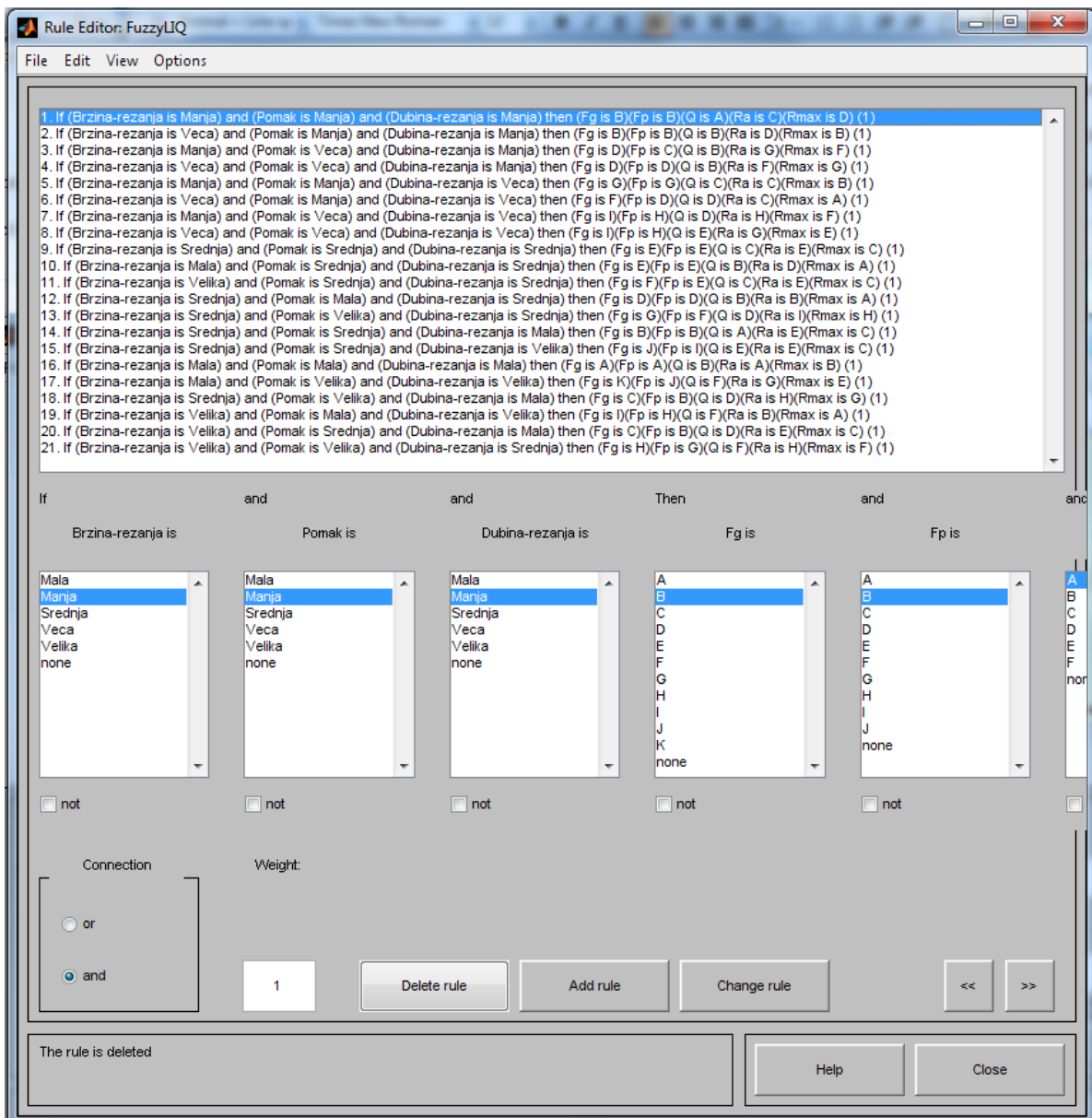
1. *If* (brzina) **manja** *and* (pomak) **manja** *and* (dubina) **manja** *then* (Glavna sila rezanja) *is* B.
Na ovaj način se definišu i ostala pravila, kojih ima 21.

Tabela 4.32. Modifikovana tabela

| Redni broj | Kod faktora | | | Glavna sila rezanja KL Fg, N |
|------------|-------------|-----------------------|-------|---------------------------------|
| | v, m/s | s ₁ , mm/z | a, mm | |
| 1 | -1 | -1 | -1 | B |
| 2 | 1 | -1 | -1 | B |
| 3 | -1 | 1 | -1 | D |
| 4 | 1 | 1 | -1 | D |
| 5 | -1 | -1 | 1 | G |
| 6 | 1 | -1 | 1 | F |
| 7 | -1 | 1 | 1 | I |
| 8 | 1 | 1 | 1 | I |
| 9 | 0 | 0 | 0 | E |
| 10 | -1,41 | 0 | 0 | E |
| 11 | 1,41 | 0 | 0 | F |
| 12 | 0 | -1,41 | 0 | D |
| 13 | 0 | 1,41 | 0 | G |
| 14 | 0 | 0 | -1,41 | B |
| 15 | 0 | 0 | 1,41 | J |
| 16 | -1,41 | -1,41 | -1,41 | A |
| 17 | -1,41 | 1,41 | 1,41 | K |
| 18 | 0 | 1,41 | -1,41 | C |
| 19 | 1,41 | -1,41 | 1,41 | I |
| 20 | 1,41 | 0 | -1,41 | C |
| 21 | 1,41 | 1,41 | 0 | H |

Na slici 4.11. su prikazana sva pravila sa kodovima koji su definisani na osnovu tabele 4.32. i uneti u sistem veštačke inteligencije koji radi na bazi fazi logike.

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

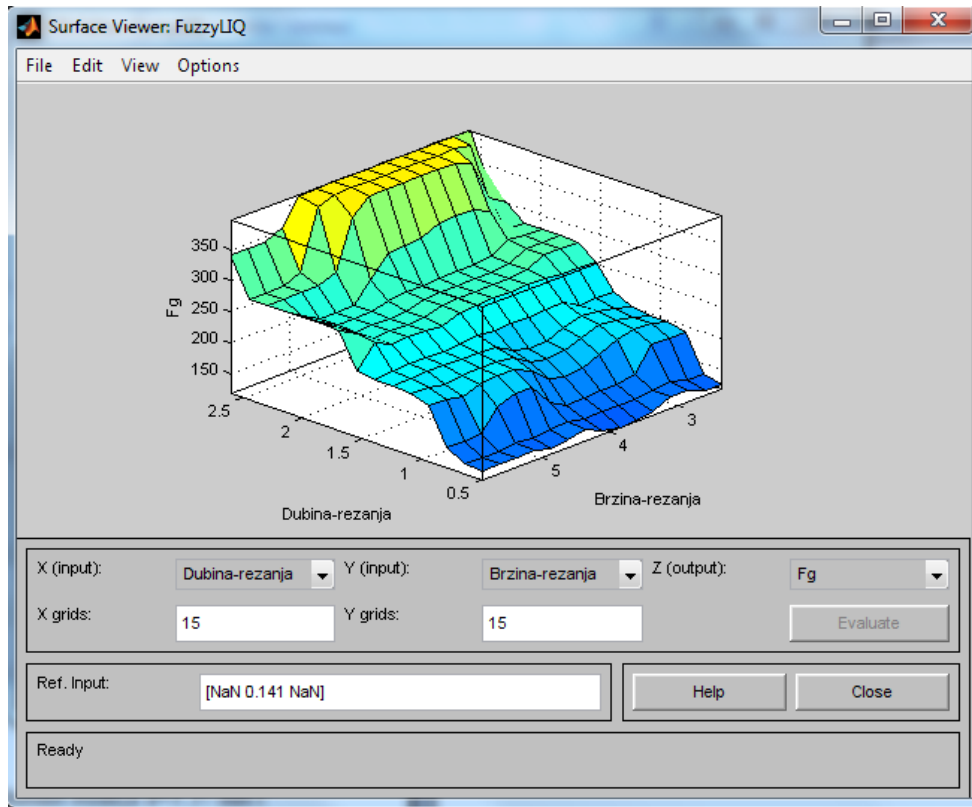


Slika 4.11 Editor pravila

Grafički prikaz skupa mogućih rešenja je prikazan na slici 4.12. Prikazano je kako parametri npr. (brzina i dubina rezanja) utiču na izlaznu promenljivu npr. (F_g). Dobija se pomoću komande **View > Surface**. Skup rešenja je prikazan 3D dijagramom, gde ose X i Y predstavljaju ulaze (mogu da se izaberu bilo koja dva ulaza), a osa Z predstavlja izlaz.

Surface viewer (preglednik skupa rešenja) ima posebnu sposobnost koja je veoma korisna u slučajevima sa dva ili više ulaza i jednim izlazom, površina se može rotirati pomoću miša tako da se može dobiti različit trodimenzionalan pogled na rešenja. U situacijama kada ima više ulaza nego što sistem može da prikaže (sistem može da prikaže samo tri dimenzije), pa u polje **Ref.Input** unose se konstantne vrednosti koje nisu navedene u 3D dijagramu.

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem



Slika 4.12 Uticaj brzine i dubine rezanja na glavnu silu rezanja F_g za vrednosti pomaka po zubu $s_1=0.141$ mm/z

Za fazi sistem za određivanje temperature definiše se 25 pravila na osnovu eksperimenta, pošto ima 3 ulazne promenljive, svaka promenljiva ima 5 funkcija pripadnosti, da bi sistem bio kompletan trebalo bi definisati 125 pravila ($5*5*5=125$).

4.2.3. Prikaz rezultata dobijenih pomoću neuronskih mreža i „mamdani“ modela

Rezultati dobijeni uz pomoć neuronske mreže i fazi logike su dati u narednim tabelama, uporedo sa eksperimentalnim vrednostima.

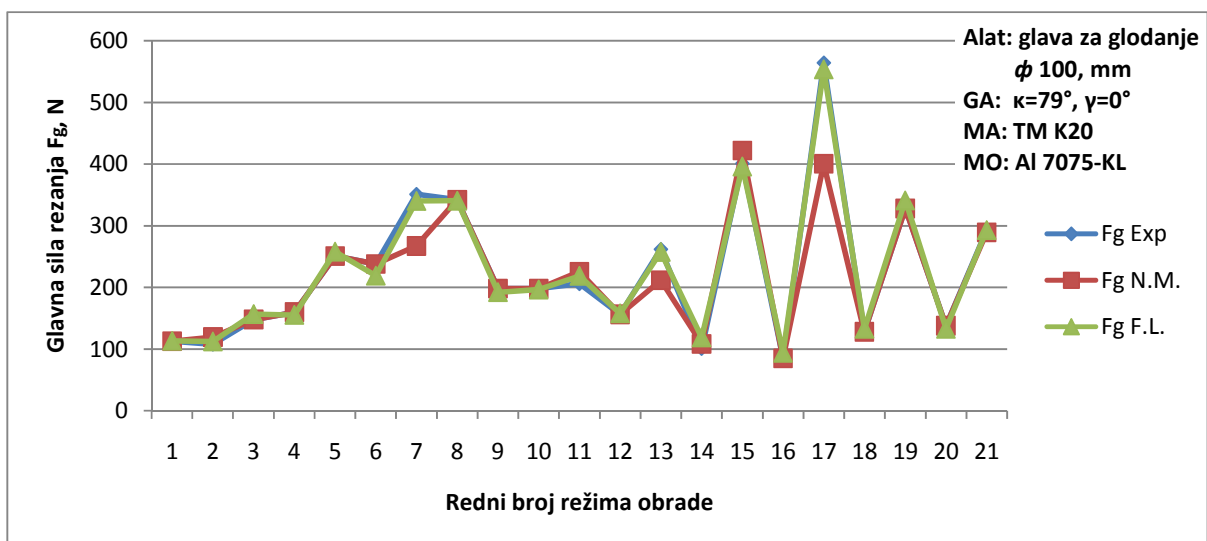
Kvantitativna mogućnost predikcije E , je ocenjena u odnosu na procenat odstupanja (devijacije) između dobijenih vrednosti (uz pomoć odgovarajućeg modela) i očekivanih (eksperimentalnih) vrednosti za glavnu silu rezanja F_g , silu prodiranja F_p , temperaturu u zoni rezanja Q , kao i za dve mere hrapavosti obrađene površine, srednju aritmetičku hrapavost obrađene površine R_a i maksimalnu visinu neravnina obrađene površine R_{max} , a takođe i obrada podataka za faktor sabijanja strugotine λ . Modeli su urađeni za oba tipa legure aluminijuma, konvencionalno livene (KL) i uz pomoć nove metode livenja SSM. Uvedene su i sledeće skraćenice: za modele Neuronskih Mreža (NM), odnosno za modele Fazi Logike (FL).

$$E = \frac{|Y_{i \text{ mod}} - Y_{i \text{ exp}}|}{Y_{i \text{ exp}}} * 100\% \quad i = 1 \div n, \quad Y_i = F_{gi}; F_{pi}; \theta_i; R_{ai}; R_{max}; \lambda_i \quad (4.17)$$

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.33. Rezultati dobijeni preko modela neuronskih mreža (N.M.) i modela fazi logike (F.L.) sa procentualnom greškom E za F_g (KL)

| R.b. | $F_{g \text{ Exp.}}, N$ | $F_{g \text{ N.M.}}, N$ | E, % | $F_{g \text{ F.L.}}, N$ | E, % |
|------|-------------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| 1. | 113 | 113 | 0 | 113,44 | 0,39 |
| 2. | 108 | 119,61 | 10,75 | 112,43 | 4,1 |
| 3. | 148 | 148 | 0 | 156,88 | 6 |
| 4. | 160 | 160 | 0 | 155,61 | 2,74 |
| 5. | 251 | 251 | 0 | 257,97 | 2,78 |
| 6. | 238 | 238 | 0 | 219,14 | 7,92 |
| 7. | 351 | 267,27 | 23,85 | 340,20 | 3,08 |
| 8. | 342 | 342 | 0 | 340,56 | 0,42 |
| 9. | 198 | 198 | 0 | 192,41 | 2,82 |
| 10. | 198 | 198 | 0 | 196,61 | 0,7 |
| 11. | 206 | 225,67 | 9,55 | 218,87 | 6,25 |
| 12. | 156,5 | 156,5 | 0 | 158,11 | 1,03 |
| 13. | 262 | 211,46 | 19,29 | 257,55 | 1,7 |
| 14. | 101 | 108,27 | 7,2 | 119,04 | 17,87 |
| 15. | 401 | 421,97 | 5,23 | 396,00 | 1,25 |
| 16. | 85 | 85 | 0 | 94,10 | 10,7 |
| 17. | 564 | 400,63 | 28,97 | 553,44 | 1,87 |
| 18. | 128 | 128 | 0 | 133,02 | 3,92 |
| 19. | 328 | 328 | 0 | 341,00 | 3,96 |
| 20. | 138 | 138 | 0 | 133,03 | 3,6 |
| 21. | 293 | 289,22 | 1,29 | 292,96 | 0,01 |
| | Prosečna greška \Rightarrow | | 5,05 | | 3,96 |

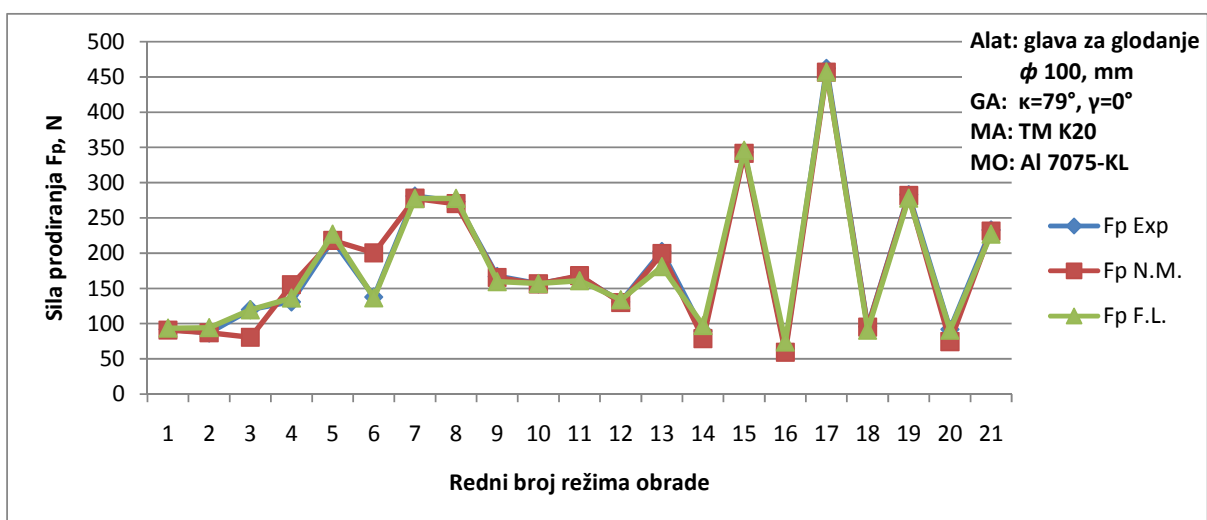


Slika 4.13. Grafički prikaz dobijenih vrednosti za glavnu silu rezanja F_g

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.34. Rezultati dobijeni preko modela neuronskih mreža (N.M.) i modela fazi logike (F.L.) sa procentualnom greškom E za F_p (KL)

| R.b. | $F_{p \text{ Exp.}}, N$ | $F_{p \text{ N.M.}}, N$ | E, % | $F_{p \text{ F.L.}}, N$ | E, % |
|------|-------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| 1. | 92 | 90,96 | 1,13 | 93,65 | 1,79 |
| 2. | 87 | 87,14 | 0,16 | 94,33 | 8,42 |
| 3. | 120 | 80,70 | 32,75 | 119,72 | 0,23 |
| 4. | 131 | 155,32 | 18,57 | 136,32 | 4,06 |
| 5. | 219 | 218,27 | 0,33 | 226,97 | 3,64 |
| 6. | 138 | 200,40 | 45,21 | 136,54 | 1,06 |
| 7. | 281 | 277,73 | 1,16 | 277,51 | 1,24 |
| 8. | 273 | 270,23 | 1,01 | 277,73 | 1,73 |
| 9. | 167 | 165,60 | 0,84 | 159,50 | 4,49 |
| 10. | 156,5 | 156,54 | 0,02 | 156,92 | 0,27 |
| 11. | 166,5 | 168,08 | 0,95 | 160,99 | 3,31 |
| 12. | 131 | 129,85 | 0,88 | 133,92 | 2,23 |
| 13. | 202,5 | 199,33 | 1,56 | 180,81 | 10,71 |
| 14. | 89,5 | 78,94 | 11,8 | 97,38 | 8,81 |
| 15. | 343,5 | 341,45 | 0,6 | 346,00 | 0,73 |
| 16. | 64 | 59,68 | 6,75 | 73,97 | 15,57 |
| 17. | 462 | 456,30 | 1,23 | 457,07 | 1,07 |
| 18. | 96 | 95,24 | 0,79 | 90,77 | 5,45 |
| 19. | 283 | 281,55 | 0,51 | 278,00 | 1,77 |
| 20. | 92 | 74,62 | 18,89 | 90,79 | 1,31 |
| 21. | 233 | 231,29 | 0,73 | 226,98 | 2,58 |
| | Prosečna greška ⇒ | | 6,95 | | 3,83 |

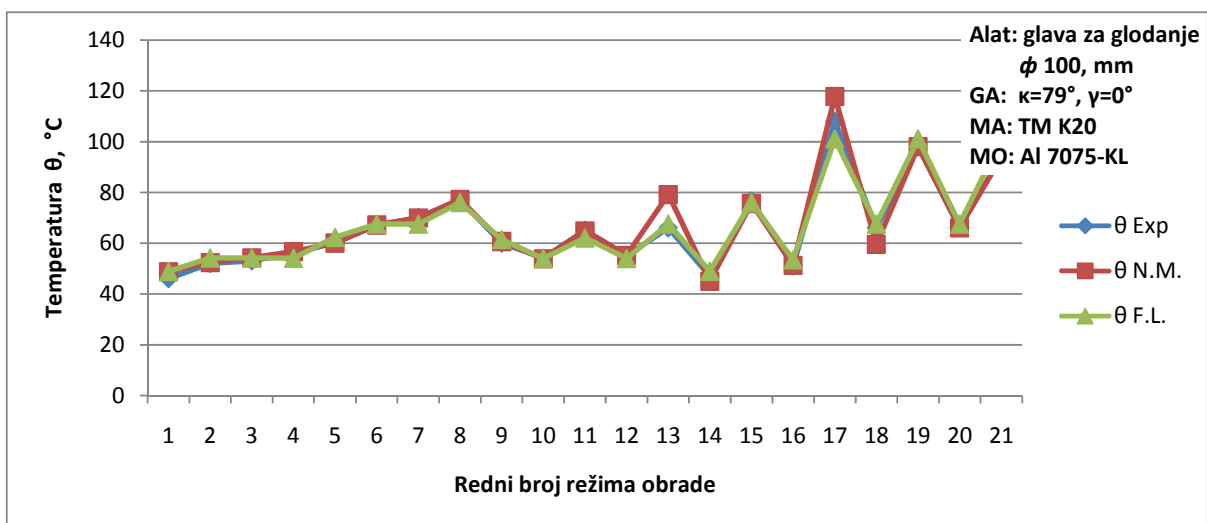


Slika 4.14. Grafički prikaz dobijenih vrednosti za silu prodiranja F_p

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.35. Rezultati dobijeni preko modela neuronskih mreža (N.M.) i modela fazi logike (F.L.) sa procentualnom greškom E za θ (KL)

| R.b. | $\theta_{Exp., C^\circ}$ | $\theta_{N.M., C^\circ}$ | E, % | $\theta_{F.L., C^\circ}$ | E, % |
|------|-------------------------------|--------------------------|-------|--------------------------|------|
| 1. | 46 | 48,808 | 6,1 | 48,822 | 6,13 |
| 2. | 52 | 52,316 | 0,61 | 54,168 | 4,17 |
| 3. | 53 | 54,244 | 2,35 | 54,156 | 2,18 |
| 4. | 56 | 56,666 | 1,19 | 54,073 | 3,44 |
| 5. | 60 | 60,033 | 0,05 | 62,288 | 3,81 |
| 6. | 67 | 67,127 | 0,19 | 67,497 | 0,74 |
| 7. | 70 | 69,938 | 0,09 | 67,497 | 3,58 |
| 8. | 77 | 77,148 | 0,19 | 75,976 | 1,33 |
| 9. | 60 | 60,637 | 1,06 | 61,426 | 2,38 |
| 10. | 54 | 53,869 | 0,24 | 53,950 | 0,09 |
| 11. | 65 | 64,851 | 0,23 | 62,029 | 4,57 |
| 12. | 55 | 55,161 | 0,29 | 53,950 | 1,91 |
| 13. | 66 | 79,130 | 19,89 | 67,499 | 2,27 |
| 14. | 47 | 45,032 | 4,19 | 48,935 | 4,12 |
| 15. | 76,5 | 75,652 | 1,11 | 76,000 | 0,65 |
| 16. | 51 | 51,262 | 0,51 | 53,481 | 4,86 |
| 17. | 108 | 117,682 | 8,96 | 101,000 | 6,48 |
| 18. | 66 | 59,503 | 9,84 | 67,496 | 2,27 |
| 19. | 98 | 97,974 | 0,03 | 101,000 | 3,06 |
| 20. | 66 | 65,994 | 0,01 | 67,488 | 2,26 |
| 21. | 94 | 93,922 | 0,08 | 100,962 | 7,41 |
| | Prosečna greška \Rightarrow | | 2,72 | | 3,22 |

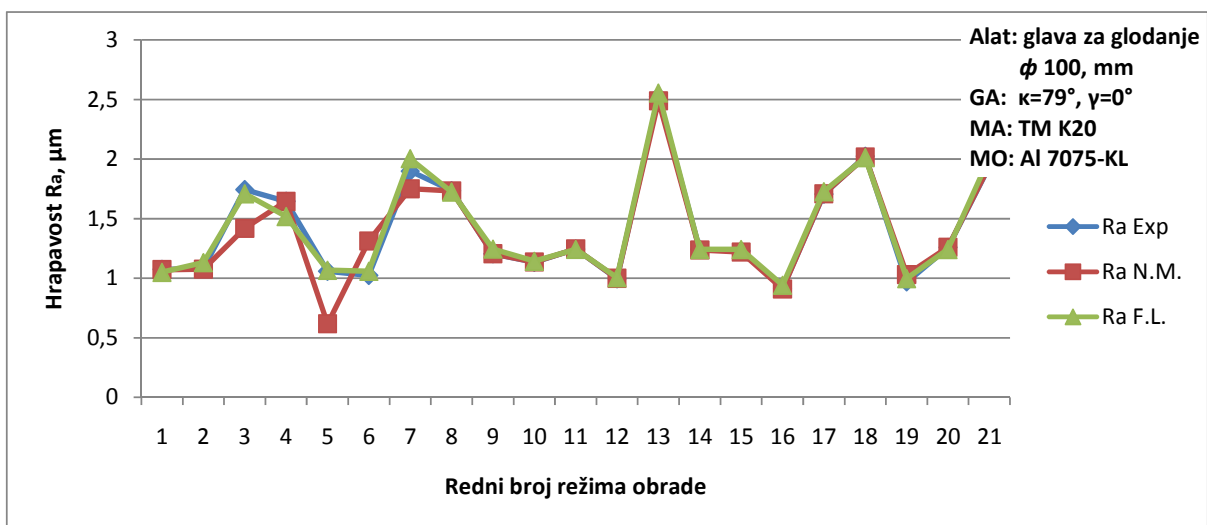


Slika 4.15. Grafički prikaz dobijenih vrednosti za temperaturu u zoni rezanja θ

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.36. Rezultati dobijeni preko modela neuronskih mreža (N.M.) i modela fazi logike (F.L.) sa procentualnom greškom E za R_a (KL)

| R.b. | $R_{a \text{ Exp.}}, \mu\text{m}$ | $R_{a \text{ N.M.}}, \mu\text{m}$ | E, % | $R_{a \text{ F.L.}}, \mu\text{m}$ | E, % |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|------|
| 1. | 1,074 | 1,07140 | 0,24 | 1,04841 | 2,38 |
| 2. | 1,081 | 1,07530 | 0,53 | 1,12997 | 4,53 |
| 3. | 1,743 | 1,41830 | 18,63 | 1,70737 | 2,04 |
| 4. | 1,645 | 1,64350 | 0,09 | 1,51668 | 7,8 |
| 5. | 1,058 | 0,61722 | 41,66 | 1,06581 | 0,74 |
| 6. | 1,023 | 1,31280 | 28,33 | 1,05733 | 3,36 |
| 7. | 1,898 | 1,75100 | 7,74 | 2,00201 | 5,48 |
| 8. | 1,734 | 1,73260 | 0,08 | 1,72222 | 0,68 |
| 9. | 1,205 | 1,20520 | 0,02 | 1,24355 | 3,2 |
| 10. | 1,133 | 1,13540 | 0,21 | 1,14114 | 0,72 |
| 11. | 1,244 | 1,24520 | 0,1 | 1,24070 | 0,26 |
| 12. | 0,995 | 0,99868 | 0,37 | 1,00335 | 0,84 |
| 13. | 2,5225 | 2,48840 | 1,35 | 2,55242 | 1,19 |
| 14. | 1,242 | 1,23740 | 0,37 | 1,24020 | 0,14 |
| 15. | 1,229 | 1,21820 | 0,88 | 1,24000 | 0,9 |
| 16. | 0,915 | 0,90879 | 0,68 | 0,94037 | 2,77 |
| 17. | 1,705 | 1,70700 | 0,12 | 1,72500 | 1,17 |
| 18. | 2,023 | 2,01700 | 0,3 | 2,01064 | 0,61 |
| 19. | 0,969 | 1,02920 | 6,21 | 0,99600 | 2,79 |
| 20. | 1,258 | 1,25900 | 0,08 | 1,24022 | 1,41 |
| 21. | 1,94 | 1,94360 | 0,19 | 2,01063 | 3,64 |
| Prosečna greška ⇒ | | | 5,15 | | 2,22 |

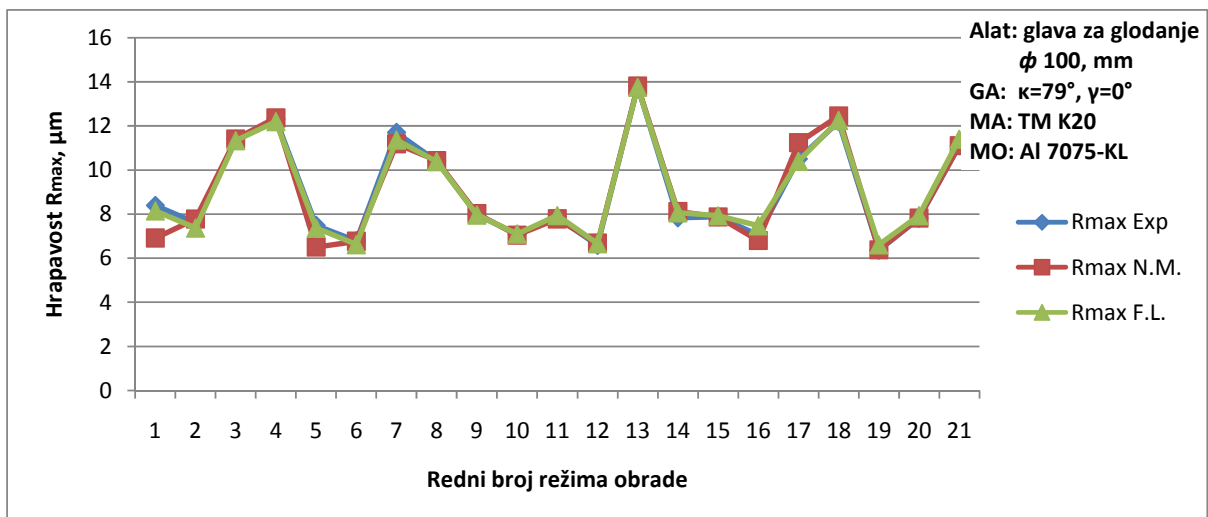


Slika 4.16. Grafički prikaz dobijenih vrednosti za srednju aritmetičku hrapavost R_a

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.37. Rezultati dobijeni preko modela neuronskih mreža (N.M.) i modela fazi logike (F.L.) sa procentualnom greškom E za R_{max} (KL)

| R.b. | $R_{max \text{ Exp.}}, \mu\text{m}$ | $R_{max \text{ N.M.}}, \mu\text{m}$ | E, % | $R_{max \text{ F.L.}}, \mu\text{m}$ | E, % |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|------|
| 1. | 8,39 | 6,91730 | 17,55 | 8,14988 | 2,86 |
| 2. | 7,62 | 7,77560 | 2,04 | 7,37143 | 3,26 |
| 3. | 11,4 | 11,40070 | 0,01 | 11,33191 | 0,6 |
| 4. | 12,3 | 12,36110 | 0,5 | 12,19808 | 0,83 |
| 5. | 7,49 | 6,50610 | 13,14 | 7,36411 | 1,68 |
| 6. | 6,79 | 6,76880 | 0,31 | 6,61813 | 2,53 |
| 7. | 11,7 | 11,18530 | 4,4 | 11,36151 | 2,89 |
| 8. | 10,4 | 10,42700 | 0,26 | 10,38586 | 0,14 |
| 9. | 7,98 | 8,02340 | 0,54 | 7,96440 | 0,2 |
| 10. | 7,085 | 7,05060 | 0,49 | 7,09968 | 0,21 |
| 11. | 7,855 | 7,78760 | 0,86 | 7,93739 | 1,05 |
| 12. | 6,585 | 6,68570 | 1,53 | 6,66164 | 1,16 |
| 13. | 13,8 | 13,80360 | 0,03 | 13,75564 | 0,32 |
| 14. | 7,835 | 8,11480 | 3,57 | 8,06680 | 2,96 |
| 15. | 7,88 | 7,87320 | 0,09 | 7,93000 | 0,63 |
| 16. | 7,06 | 6,79840 | 3,71 | 7,47959 | 5,94 |
| 17. | 10,5 | 11,23890 | 7,04 | 10,40000 | 0,95 |
| 18. | 12,2 | 12,44840 | 2,04 | 12,24972 | 0,41 |
| 19. | 6,37 | 6,38430 | 0,22 | 6,61015 | 3,77 |
| 20. | 7,81 | 7,81970 | 0,12 | 7,93483 | 1,6 |
| 21. | 11,1 | 11,10850 | 0,08 | 11,39993 | 2,7 |
| Prosečna greška ⇒ | | | 2,79 | | 1,75 |

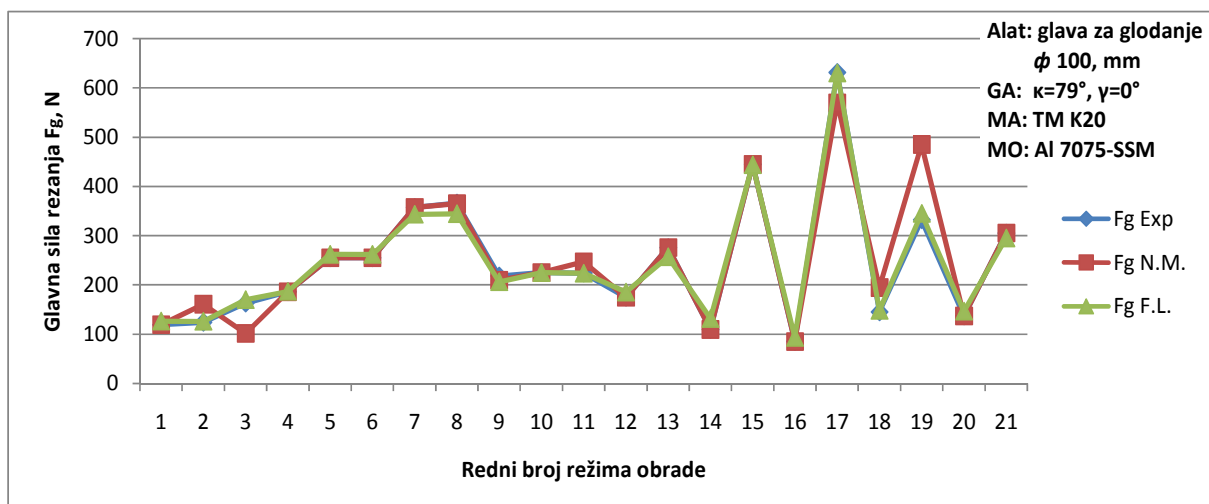


Slika 4.17. Grafički prikaz dobijenih vrednosti za maksimalnu visinu neravnina R_{max}

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.38. Rezultati dobijeni preko modela neuronskih mreža (N.M.) i modela fazi logike (F.L.) sa procentualnom greškom E za F_g (SSM)

| R.b. | $F_{g \text{ Exp.}}, N$ | $F_{g \text{ N.M.}}, N$ | E, % | $F_{g \text{ F.L.}}, N$ | E, % |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| 1. | 119 | 119 | 0 | 126,45 | 6,26 |
| 2. | 124 | 160,81 | 29,69 | 125,88 | 1,52 |
| 3. | 163 | 101,57 | 37,69 | 169,82 | 4,19 |
| 4. | 186 | 186 | 0 | 186,64 | 0,34 |
| 5. | 255 | 255 | 0 | 262,01 | 2,75 |
| 6. | 255 | 255 | 0 | 261,77 | 2,65 |
| 7. | 357 | 357 | 0 | 343,34 | 3,83 |
| 8. | 366 | 364,60 | 0,38 | 344,42 | 5,9 |
| 9. | 218 | 209,38 | 3,95 | 206,17 | 5,43 |
| 10. | 225 | 225 | 0 | 224,87 | 0,06 |
| 11. | 224 | 246,69 | 10,13 | 223,67 | 0,15 |
| 12. | 175 | 175 | 0 | 185,18 | 5,82 |
| 13. | 275,5 | 275,5 | 0 | 256,97 | 6,73 |
| 14. | 109,5 | 109,5 | 0 | 131,65 | 20,22 |
| 15. | 444,5 | 444,5 | 0 | 443,79 | 0,16 |
| 16. | 85 | 85 | 0 | 93,12 | 9,55 |
| 17. | 631 | 569,02 | 9,82 | 630,20 | 0,13 |
| 18. | 145 | 194,45 | 34,1 | 148,03 | 2,09 |
| 19. | 332 | 484,90 | 46,06 | 345,00 | 3,92 |
| 20. | 137 | 137 | 0 | 146,59 | 7 |
| 21. | 305 | 305 | 0 | 295,00 | 3,28 |
| Prosečna greška ⇒ | | | 8,18 | | 4,38 |

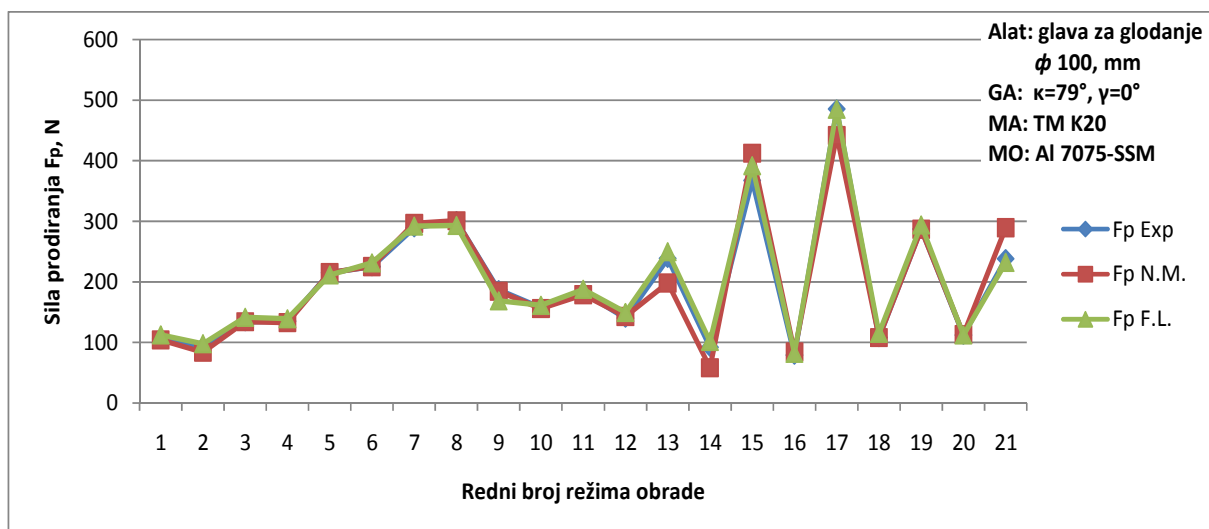


Slika 4.18. Grafički prikaz dobijenih vrednosti za glavnu silu rezanja F_g

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.39. Rezultati dobijeni preko modela neuronskih mreža (N.M.) i modela fazi logike (F.L.) sa procentualnom greškom E za F_p (SSM)

| R.b. | $F_{p \text{ Exp.}}, N$ | $F_{p \text{ N.M.}}, N$ | E, % | $F_{p \text{ F.L.}}, N$ | E, % |
|------|-------------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|
| 1. | 106 | 103,98 | 1,9 | 112,36 | 6 |
| 2. | 93 | 84,02 | 9,66 | 97,91 | 5,28 |
| 3. | 134 | 134,02 | 0,02 | 141,44 | 5,55 |
| 4. | 135 | 132,73 | 1,68 | 138,94 | 2,92 |
| 5. | 215 | 215,23 | 0,11 | 211,40 | 1,67 |
| 6. | 225 | 225,20 | 0,09 | 231,23 | 2,77 |
| 7. | 289 | 296,33 | 2,54 | 292,00 | 1,04 |
| 8. | 301 | 300,69 | 0,1 | 293,10 | 2,63 |
| 9. | 187 | 184,43 | 1,38 | 168,58 | 9,85 |
| 10. | 157,5 | 155,75 | 1,11 | 161,16 | 2,33 |
| 11. | 182,5 | 178,79 | 2,03 | 187,56 | 2,77 |
| 12. | 140 | 142,88 | 2,05 | 149,32 | 6,66 |
| 13. | 238,5 | 198,06 | 16,96 | 249,68 | 4,69 |
| 14. | 92 | 58,34 | 36,59 | 101,60 | 10,43 |
| 15. | 367 | 412,27 | 12,33 | 391,83 | 6,77 |
| 16. | 79 | 84,50 | 6,96 | 81,93 | 3,7 |
| 17. | 485 | 441,25 | 9,02 | 484,97 | 0,01 |
| 18. | 108 | 108,07 | 0,07 | 114,85 | 6,34 |
| 19. | 287 | 286,72 | 0,1 | 294,00 | 2,44 |
| 20. | 112 | 112,86 | 0,77 | 112,19 | 0,17 |
| 21. | 238 | 289,18 | 21,5 | 232,00 | 2,52 |
| | Prosečna greška \Rightarrow | | 6,05 | | 4,12 |

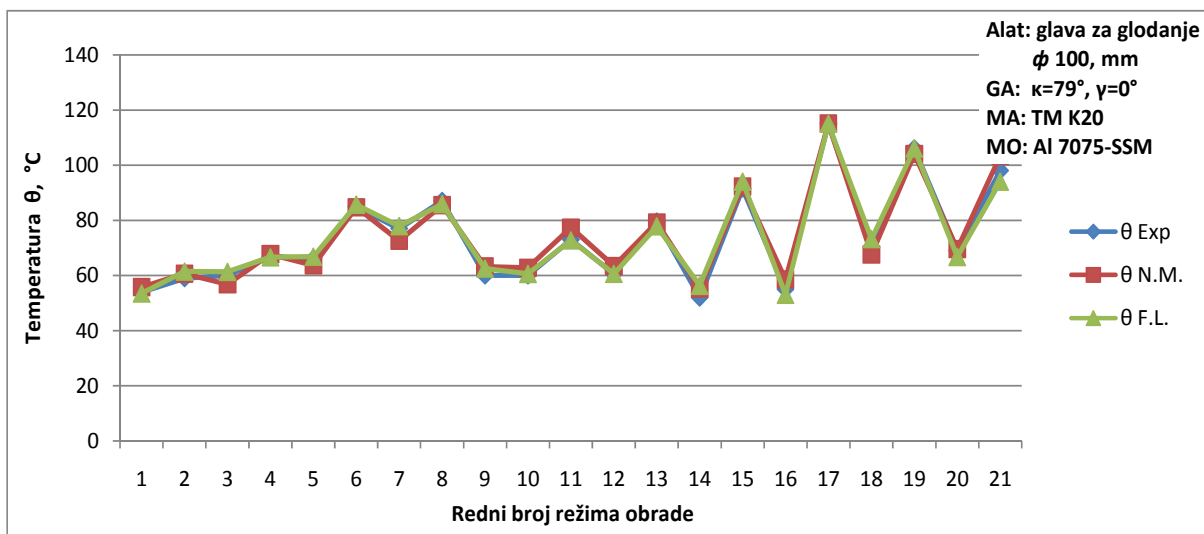


Slika 4.19. Grafički prikaz dobijenih vrednosti za silu prodiranja F_p

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.40. Rezultati dobijeni preko modela neuronskih mreža (N.M.) i modela fazi logike (F.L.) sa procentualnom greškom E za θ (SSM)

| R.b. | $\theta_{Exp., C^\circ}$ | $\theta_{N.M., C^\circ}$ | E, % | $\theta_{F.L., C^\circ}$ | E, % |
|------|-------------------------------|--------------------------|------|--------------------------|------|
| 1. | 54 | 55,838 | 3,4 | 53,473 | 0,98 |
| 2. | 59 | 60,632 | 2,77 | 61,409 | 4,08 |
| 3. | 60 | 56,803 | 5,33 | 61,317 | 2,19 |
| 4. | 67 | 67,742 | 1,11 | 66,586 | 0,62 |
| 5. | 66 | 63,719 | 3,46 | 66,794 | 1,2 |
| 6. | 85 | 84,740 | 0,31 | 85,659 | 0,78 |
| 7. | 77 | 72,594 | 5,72 | 77,879 | 1,14 |
| 8. | 87 | 85,485 | 1,74 | 85,864 | 1,31 |
| 9. | 60 | 63,310 | 5,52 | 62,508 | 4,18 |
| 10. | 60 | 62,819 | 4,7 | 60,571 | 0,95 |
| 11. | 73 | 77,347 | 5,95 | 72,728 | 0,37 |
| 12. | 60,5 | 63,443 | 4,86 | 60,594 | 0,16 |
| 13. | 79,5 | 79,218 | 0,36 | 77,804 | 2,13 |
| 14. | 52 | 55,272 | 6,29 | 56,292 | 8,25 |
| 15. | 91,5 | 92,232 | 0,8 | 93,977 | 2,71 |
| 16. | 55 | 58,571 | 6,49 | 53,001 | 3,63 |
| 17. | 115 | 115,097 | 0,08 | 115,000 | 0 |
| 18. | 70 | 67,635 | 3,38 | 73,173 | 4,53 |
| 19. | 106 | 104,042 | 1,85 | 106,000 | 0 |
| 20. | 69 | 69,554 | 0,8 | 66,715 | 3,31 |
| 21. | 98 | 103,311 | 5,42 | 93,999 | 4,08 |
| | Prosečna greška \Rightarrow | | 3,35 | | 2,22 |

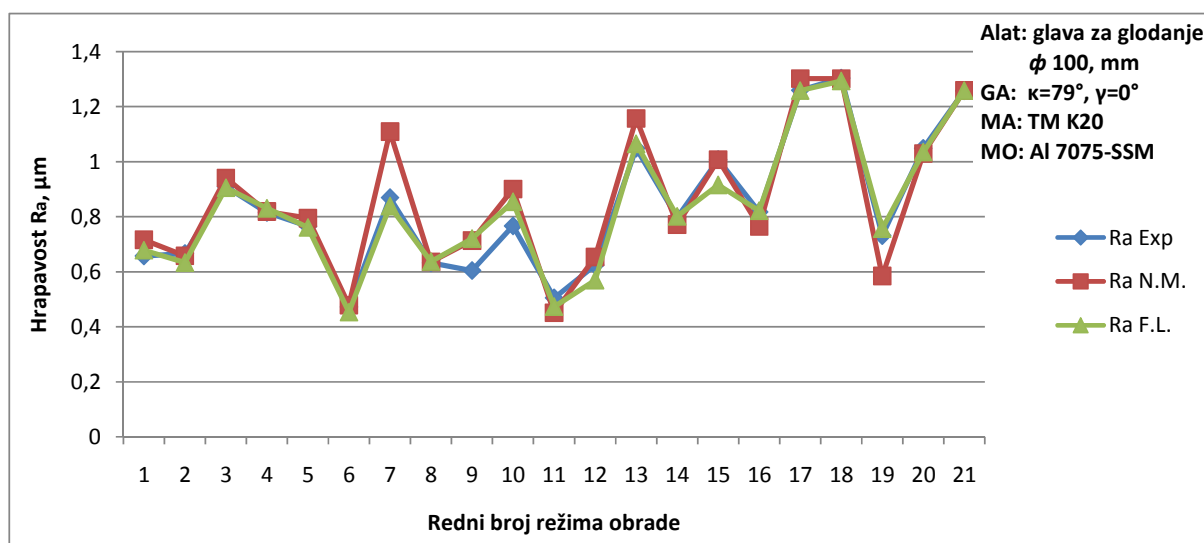


Slika 4.20. Grafički prikaz dobijenih vrednosti za temperaturu u zoni rezanja θ

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.41. Rezultati dobijeni preko modela neuronskih mreža (N.M.) i modela fazi logike (F.L.) sa procentualnom greškom E za R_a (SSM)

| R.b. | $R_{a \text{ Exp.}}, \mu\text{m}$ | $R_{a \text{ N.M.}}, \mu\text{m}$ | E, % | $R_{a \text{ F.L.}}, \mu\text{m}$ | E, % |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|
| 1. | 0,657 | 0,71575 | 8,94 | 0,67776 | 3,16 |
| 2. | 0,666 | 0,65690 | 1,37 | 0,63271 | 5 |
| 3. | 0,909 | 0,94028 | 3,44 | 0,90475 | 0,47 |
| 4. | 0,815 | 0,81838 | 0,41 | 0,82998 | 1,84 |
| 5. | 0,765 | 0,79413 | 3,81 | 0,76046 | 0,59 |
| 6. | 0,472 | 0,47732 | 1,13 | 0,45253 | 4,12 |
| 7. | 0,869 | 1,10880 | 27,59 | 0,83828 | 3,54 |
| 8. | 0,632 | 0,63477 | 0,44 | 0,63644 | 0,7 |
| 9. | 0,604 | 0,71266 | 17,99 | 0,72011 | 19,22 |
| 10. | 0,766 | 0,90026 | 17,53 | 0,85376 | 11,46 |
| 11. | 0,505 | 0,45032 | 10,83 | 0,47259 | 6,42 |
| 12. | 0,624 | 0,65335 | 4,7 | 0,56875 | 8,85 |
| 13. | 1,048 | 1,15690 | 10,39 | 1,06435 | 1,56 |
| 14. | 0,7965 | 0,77069 | 3,24 | 0,80073 | 0,53 |
| 15. | 1,007 | 1,00710 | 0,01 | 0,91490 | 9,15 |
| 16. | 0,817 | 0,76448 | 6,43 | 0,82120 | 0,51 |
| 17. | 1,259 | 1,30160 | 3,38 | 1,25800 | 0,08 |
| 18. | 1,303 | 1,30110 | 0,15 | 1,29291 | 0,77 |
| 19. | 0,731 | 0,58371 | 20,15 | 0,75600 | 3,42 |
| 20. | 1,048 | 1,02920 | 1,79 | 1,03456 | 1,28 |
| 21. | 1,257 | 1,25900 | 0,16 | 1,25798 | 0,08 |
| Prosečna greška \Rightarrow | | | 6,85 | | 3,94 |

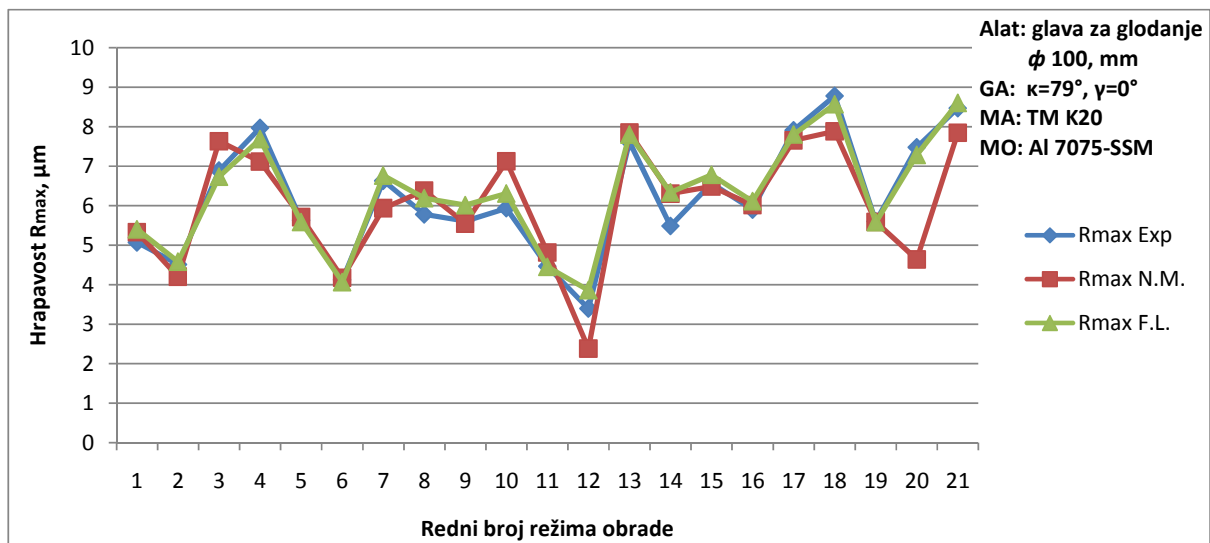


Slika 4.21. Grafički prikaz dobijenih vrednosti za srednju aritmetičku hrapavost R_a

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.42. Rezultati dobijeni preko modela neuronskih mreža (N.M.) i modela fazi logike (F.L.) sa procentualnom greškom E za R_{max} (SSM)

| R.b. | $R_{max \text{ Exp.}}, \mu\text{m}$ | $R_{max \text{ N.M.}}, \mu\text{m}$ | E, % | $R_{max \text{ F.L.}}, \mu\text{m}$ | E, % |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|
| 1. | 5,07 | 5,33080 | 5,14 | 5,39864 | 6,48 |
| 2. | 4,51 | 4,19900 | 6,9 | 4,57950 | 1,54 |
| 3. | 6,89 | 7,63360 | 10,79 | 6,73158 | 2,3 |
| 4. | 7,97 | 7,11720 | 10,7 | 7,68362 | 3,59 |
| 5. | 5,63 | 5,70920 | 1,41 | 5,58316 | 0,83 |
| 6. | 4,12 | 4,17520 | 1,34 | 4,06184 | 1,41 |
| 7. | 6,63 | 5,93590 | 10,47 | 6,75938 | 1,95 |
| 8. | 5,78 | 6,38030 | 10,39 | 6,18796 | 7,06 |
| 9. | 5,61 | 5,54760 | 1,11 | 6,00892 | 7,11 |
| 10. | 5,935 | 7,12410 | 20,04 | 6,30717 | 6,27 |
| 11. | 4,465 | 4,81550 | 7,85 | 4,44744 | 0,39 |
| 12. | 3,395 | 2,37980 | 29,9 | 3,85784 | 13,63 |
| 13. | 7,62 | 7,85060 | 3,03 | 7,79849 | 2,34 |
| 14. | 5,485 | 6,30490 | 14,95 | 6,33326 | 15,47 |
| 15. | 6,565 | 6,48280 | 1,25 | 6,77793 | 3,24 |
| 16. | 5,9 | 6,01270 | 1,91 | 6,11099 | 3,58 |
| 17. | 7,91 | 7,65680 | 3,2 | 7,80000 | 1,39 |
| 18. | 8,78 | 7,88210 | 10,23 | 8,56661 | 2,43 |
| 19. | 5,6 | 5,58830 | 0,21 | 5,57999 | 0,36 |
| 20. | 7,48 | 4,63560 | 38,03 | 7,28395 | 2,62 |
| 21. | 8,47 | 7,84740 | 7,35 | 8,59947 | 1,53 |
| Prosečna greška ⇒ | | | 9,34 | | 4,07 |

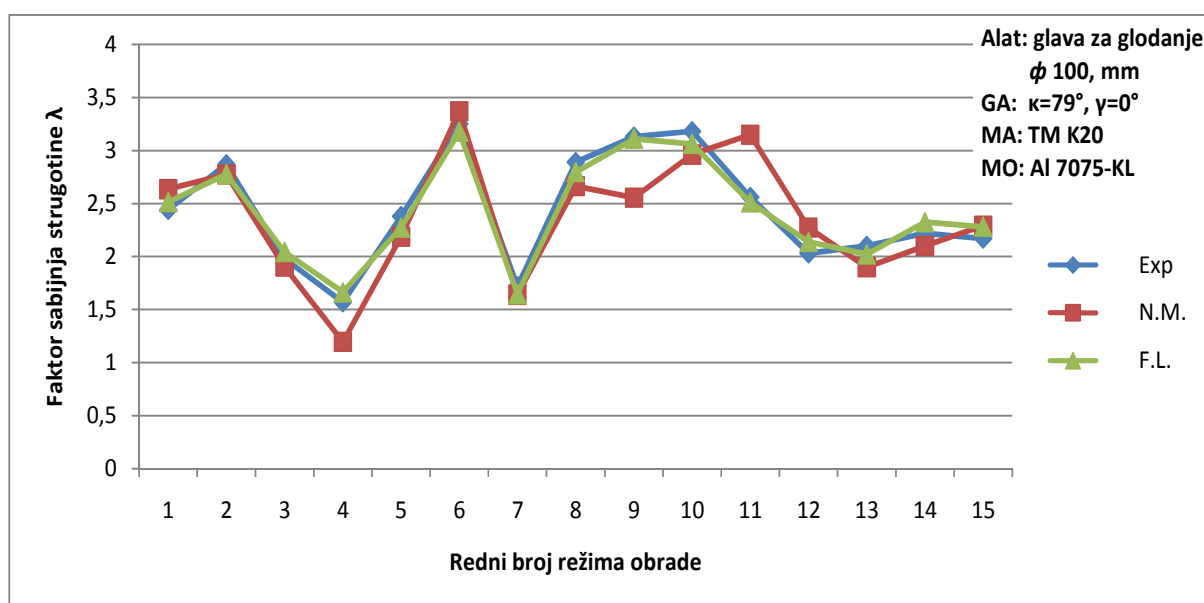


Slika 4.22. Grafički prikaz dobijenih vrednosti za maksimalnu visinu neravnina R_{max}

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.43. Rezultati dobijeni preko modela neuronskih mreža (N.M.) i modela fazi logike (F.L.) sa procentualnom greškom E za λ (KL)

| R.b. | $\lambda_{Exp.}$ | $\lambda_{N.M.}$ | E, % | $\lambda_{F.L.}$ | E, % |
|-------------------------------|------------------|------------------|-------|------------------|------|
| 1. | 2,44 | 2,635 | 8 | 2,512 | 2,95 |
| 2. | 2,87 | 2,775 | 3,32 | 2,775 | 3,3 |
| 3. | 1,98 | 1,905 | 3,78 | 2,043 | 3,18 |
| 4. | 1,57 | 1,195 | 23,86 | 1,662 | 5,87 |
| 5. | 2,38 | 2,187 | 8,12 | 2,271 | 4,57 |
| 6. | 3,25 | 3,370 | 3,7 | 3,176 | 2,28 |
| 7. | 1,72 | 1,640 | 4,63 | 1,645 | 4,34 |
| 8. | 2,89 | 2,663 | 7,84 | 2,795 | 3,28 |
| 9. | 3,13 | 2,555 | 18,36 | 3,109 | 0,67 |
| 10. | 3,18 | 2,962 | 6,86 | 3,061 | 3,75 |
| 11. | 2,56 | 3,149 | 23,01 | 2,510 | 1,96 |
| 12. | 2,03 | 2,273 | 11,97 | 2,138 | 5,33 |
| 13. | 2,1 | 1,900 | 9,52 | 2,020 | 3,8 |
| 14. | 2,22 | 2,100 | 5,39 | 2,322 | 4,61 |
| 15. | 2,17 | 2,291 | 5,57 | 2,280 | 5,07 |
| Prosečna greška \Rightarrow | | | 9,60 | | 3,66 |

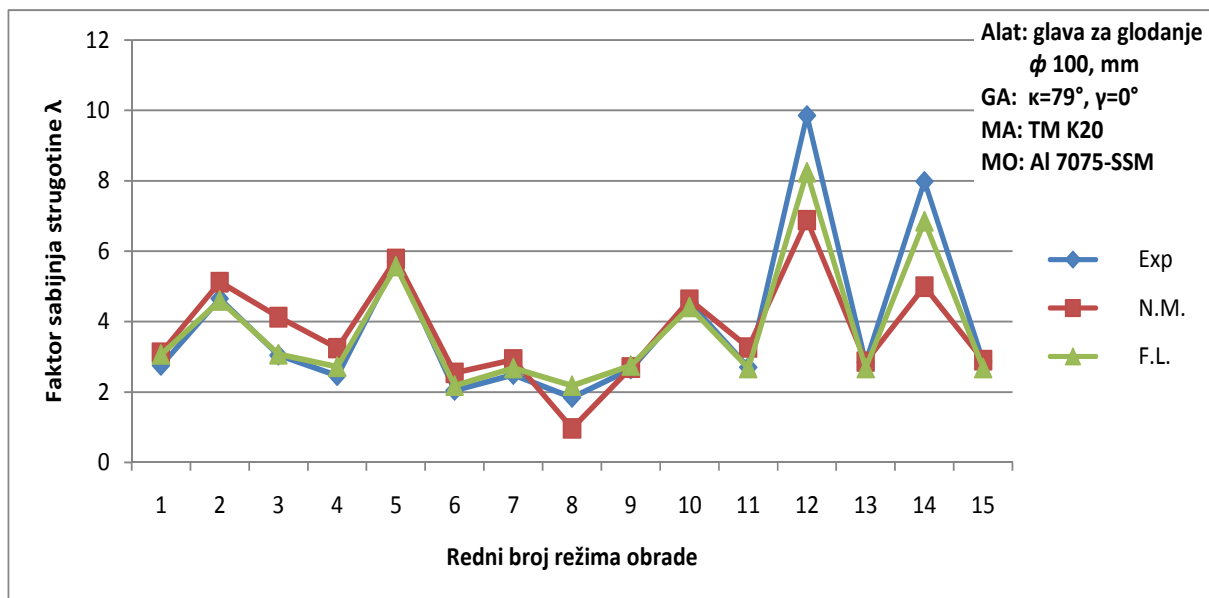


Slika 4.23. Grafički prikaz dobijenih vrednosti za faktor sabijanja strugotine λ

4.0. Modeliranje procesa obrade glodanjem

Tabela 4.44. Rezultati dobijeni preko modela neuronskih mreža (N.M.) i modela fazi logike (F.L.) sa procentualnom greškom E za λ (SSM)

| R.b. | $\lambda_{Exp.}$ | $\lambda_{N.M.}$ | E, % | $\lambda_{F.L.}$ | E, % |
|-------------------------------|------------------|------------------|-------|------------------|-------|
| 1. | 2,75 | 3,121 | 13,48 | 3,065 | 11,45 |
| 2. | 4,65 | 5,120 | 10,11 | 4,597 | 1,14 |
| 3. | 3,04 | 4,127 | 35,74 | 3,071 | 1 |
| 4. | 2,46 | 3,245 | 31,89 | 2,719 | 10,53 |
| 5. | 5,69 | 5,781 | 1,59 | 5,573 | 2,06 |
| 6. | 2,04 | 2,544 | 24,7 | 2,183 | 7 |
| 7. | 2,49 | 2,922 | 17,34 | 2,680 | 7,62 |
| 8. | 1,84 | 0,969 | 47,31 | 2,181 | 18,54 |
| 9. | 2,65 | 2,695 | 1,68 | 2,751 | 3,82 |
| 10. | 4,54 | 4,619 | 1,73 | 4,414 | 2,78 |
| 11. | 2,7 | 3,263 | 20,87 | 2,681 | 0,69 |
| 12. | 9,85 | 6,880 | 30,15 | 8,237 | 16,37 |
| 13. | 2,84 | 2,862 | 0,78 | 2,679 | 5,65 |
| 14. | 7,98 | 4,992 | 37,45 | 6,847 | 14,2 |
| 15. | 2,86 | 2,904 | 1,55 | 2,679 | 6,31 |
| Prosečna greška \Rightarrow | | | 18,42 | | 7,28 |



Slika 4.24. Grafički prikaz dobijenih vrednosti za faktor sabijanja strugotine λ

5.0. OPTIMIZACIJA PARAMETARA PROCESA OBRADE GLODANJEM

Optimizacija parametara procesa obrade izvršena je pri čeonom glodanju uz pomoć Tagučić metode. Obradeni su podaci za glavnu silu rezanja F_g , silu prodiranja F_p , temperaturu u zoni rezanja θ , kao i za dve mere hrapavosti obrađene površine, srednju aritmetičku hrapavost obrađene površine R_a i maksimalnu visinu neravnina obrađene površine R_{max} . Podaci sa izlaznim veličinama F_g , F_p , Q , R_a i R_{max} su obradeni za oba tipa legure aluminijuma, konvencionalno livene (KL) i uz pomoć nove metode livenja SSM.

5.1. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji glavne sile rezanja KL legure

Postupak traženja optimalnog nivoa ulaznih parametara kako bi vrednost glavne sile rezanja F_g kod KL legure aluminijuma bila što je moguće manja izvršen je po ranije objašnjenj Tagučići metodi i ANOVA analizi u potpoglavlju 2.7.

Prilikom planiranja eksperimenta odabran je naveden $L_9(3^4)$ model eksperimenta sa tri faktora koji se variraju u tri nivoa, tabela 5.1. Takođe je odabran kriterijum "smaller is better" sa odgovarajućim S/N odnosom koji je prikazan u tabeli 5.2.

Tabela 5.1. Faktori i nivoi variranja

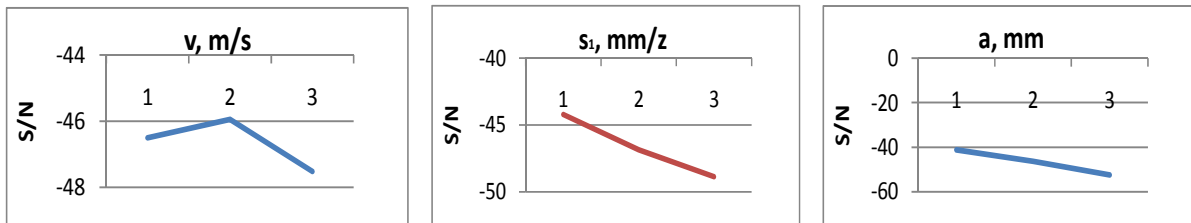
| Oznaka | Naziv faktora | Nivoi | | |
|--------|----------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| A | Brzina rezanja v , m/s | 2,35 | 3,71 | 5,86 |
| B | Pomak po zubu s_1 , mm/z | 0,089 | 0,141 | 0,223 |
| C | Dubina rezanja a , mm | 0,5 | 1,14 | 2,6 |

Tabela 5.2. Ortogonalna matrica sa izmerenim glavnim silama rezanja F_g

| R. br. | Plan eksperimenta | | | | Izmerene vrednosti | | | Srednja izmerena vrednost | S/N odnos |
|--------|-------------------|-------|-----|-------------|--------------------|-------------|-------------|---------------------------|-----------|
| | A | B | C | D | $F_{g\ i1}$ | $F_{g\ i2}$ | $F_{g\ i3}$ | $F_{g\ i}$ | S/N_i |
| | v | s_1 | a | Greška exp. | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 85 | 90 | 81 | 85,333 | -38,6305 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 196 | 200 | 190 | 195,333 | -45,8174 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 564 | 570 | 560 | 564,667 | -55,0361 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 152 | 161 | 145 | 152,667 | -43,6829 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 392 | 410 | 382 | 394,667 | -51,9283 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 0 | 128 | 135 | 124 | 129,000 | -42,2172 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0 | 328 | 335 | 324 | 329,000 | -50,3447 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0 | 138 | 145 | 133 | 138,667 | -42,8449 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 0 | 293 | 301 | 287 | 293,667 | -49,3587 |

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Uticaj pojedinih parametara na izlazne karakteristike procesa obrade može se predstaviti putem odzivnog grafika, koji pokazuje promenu odnosa S/N u trenutku promene nivoa kontrolnog parametra od 1 do 3., slika 5.1. Shodno tome, uticaj pojedinih parametara na izlaznu karakteristiku procesa (glavnu silu rezanja) izražen je grafički kroz ugao nagiba prave koja povezuje različite nivoe parametara. Sa pokazanih grafika očigledno je da najveći uticaj na vrednost glavne sile rezanja ima dubina rezanja, pa onda pomak, dok je uticaj brzine rezanja zanemarljiv (beznačajan).



Slika 5.1. Dijagram faktora A, B, C

Kombinacija nivoa (A = 2, B = 1, C = 1) daje minimalnu vrednost glavne sile rezanja za odnos S/N dobijen primenom Nutek-ovog softverskog programa Qualitek-4., namenjenog za statističku obradu podataka po Tagučijevom planu eksperimenta. Posle optimalnog podešavanja parametara rezanja određenog na osnovu napred navedenog kriterijuma, izvršena verifikacija pokazuje da je razlika između računске i eksperimentalne vrednosti veoma mala, tabela 5.3.

Tabela 5.3. Optimalna vrednosti režima rezanja

| Kontrolni faktor | Nivo | Vrednost | F _g dobijena pomoću Taguchi metode | F _g dobijena eksperimentalnim putem |
|-----------------------|------|----------|---|--|
| v, m/s | 2 | 3,71 | S/N=-38,093 F _g =80,288, N | F _g =82, N |
| s ₁ , mm/z | 1 | 0,089 | | |
| a, mm | 1 | 0,5 | | |

Nakon Tagučijevih metoda moguće je izvršiti i ANOVA analizu, a sve u cilju da se pokaže da li se rezultati o uticajnosti pojedinih faktora na izlaznu veličinu, dobijeni preko Tagučijevih metoda, slažu sa rezultatima dobijenim preko ANOVE.

Prilikom optimizacije parametara režima obrade preko ANOVA analize neophodno je ispratiti proceduralne korake koji su prikazani na primeru u potpoglavlju 2.7. Nakon proračuna stepena slobode, sume kvadrata, varijacije i vrednosti F-testa za parametre koji se optimiziraju prikazuje se početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima, tabela 5.4.

Tabela 5.4. Početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Suma kvadrata | Varijacije | F-test |
|--------|-------------------------------------|-----------------|---------------|------------|---------------|
| | | DF | S | V | F |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 4760,2 | 2380,1 | 0,687 |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 29969,4 | 14984,7 | 4,327 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 152928,2 | 76464,1 | 22,081 |
| D | Greška | 2 | 6925,8 | 3462,9 | |
| Ukupno | | 8 | 194583,7 | | |

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Vrednost F-testa faktora A (Brzine rezanja) je ≤ 1 što znači da varijansa koja dolazi od tih faktora nije veća od varijanse neuračunate greške. Uklanja se faktor A koji nije signifikantan i računa se kao greška u sledećoj interakciji. Nakog uklanjanja faktora A dobija se nova konačna ANOVA tabela 5.5., gde je sada za nova grešku okupljanja uvedena nova oznaka E.

Tabela 5.5. Računske vrednosti u konačnoj ANOVA tabeli

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Varijacije | F-test | Suma kvadrata | Procentualno učešće |
|--------|----------------------------|-----------------|------------|--------|---------------|---------------------|
| | | DF | V | F' | S' | P, % |
| B | Pomak po zubu s_1 , mm/z | 2 | 14984,7 | 5,129 | 24126,37 | 12,39896 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 76464,1 | 26,17 | 147085,3 | 75,58968 |
| E | Greška | 4 | 2921,518 | | 23372,15 | 12,01135 |
| Ukupno | | 8 | | | 194583,7 | 100 |

Kada je F statistika za faktor iz konačne ANOVA tabele veća od vrednosti F-testa (za odabrani nivo poverenja) faktor je signifikantan. Za stepen poverenja 95% i 99% iz tabela za F-test na osnovu stepena slobode faktora $DF_B = DF_C = 2$ i stepena slobode greške $DF_E = 4$ sledi: $F(95\%, 2, 4) = 6.9943$, $F(99\%, 2, 4) = 18.0000$. Vrednosti za analizu signifikantnosti parametara prikazane su u tabeli 5.6.

Tabela 5.6. Signifikantnost faktora

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | F-Test Izračunato | F-Test Tablična vrednost | | Signifikantnost faktora | |
|--------|----------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|---------|-------------------------|-----|
| | | DF | F' | 95% | 99% | 95% | 99% |
| B | Pomak po zubu s_1 , mm/z | 2 | 5,129 | 6.9943 | 18.0000 | Ne | Ne |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 26,17 | | | Da | Da |

Napomena: pomenuti proračun važi za analizu faktora koji su međusobno nezavisni.

ANOVA analizom se potvrđuje da na glavnu silu rezanja tokom čeonog glodanja najviše ima uticaja dubina rezanja. Uticaj pomaka je znatan, ali ne i presudan dok je uticaj brzine rezanja nebitan. Greška od 12% nam ukazuje da na model pored ulaznih veličina (brzine, dubine i pomaka) imaju uticaj i ostali faktori kao što su SHP, pojava vibracija, geometrija alata i sl., koji nisu analizirani kroz model.

5.2. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji sile prodiranja KL legure

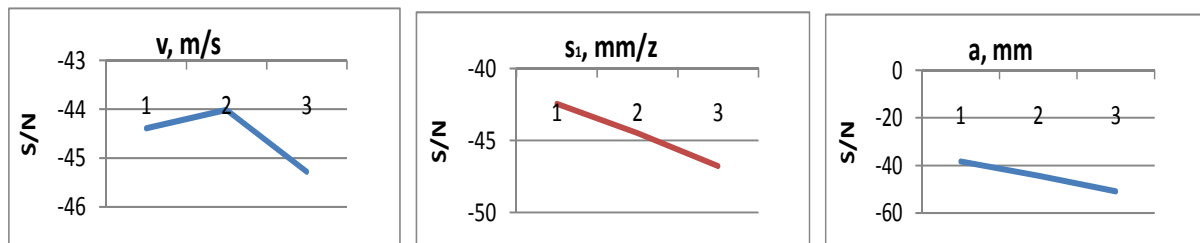
Model, faktori i nivoi variranja su isti kao u prvom slučaju i dati su u tabeli 5.1. Takođe, u nastavku je prikazana ortogonalna matrica sa izmerenim vrednostima sila prodiranja F_p kod KL legure aluminijuma, kao i izračunate vrednosti S/N odnosa za odabrani kriterijum "smaller is better", tabela 5.7.

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Tabela 5.7. Ortogonalna matrica sa izmerenim silama prodiranja F_p

| R. br. | Plan eksperimenta | | | | Izmerene vrednosti | | | Srednja izmerena vrednost | S/N odnos |
|--------|-------------------|-------|---|-------------|--------------------|-------------|-------------|---------------------------|-----------|
| | A | B | C | D | $F_{p\ i1}$ | $F_{p\ i2}$ | $F_{p\ i3}$ | $F_{p\ i}$ | S/N_i |
| | v | s_1 | a | Greška exp. | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 64 | 70 | 59 | 64,333 | -36,1899 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 153 | 160 | 145 | 152,667 | -43,6819 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 462 | 475 | 450 | 462,333 | -53,3012 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 132 | 122 | 124 | 126,000 | -42,0125 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 327 | 360 | 300 | 329,000 | -50,368 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 0 | 96 | 102 | 90 | 96,000 | -39,6567 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0 | 283 | 295 | 279 | 285,667 | -49,1197 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0 | 92 | 100 | 87 | 93,000 | -39,384 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 0 | 233 | 240 | 225 | 232,667 | -47,3377 |

Sa prikazanog grafika i dobijenih vrednosti S/N odnosa, slika 5.2. se može videti da najveći uticaj na vrednost sile prodiranja ima dubina rezanja, sledi pomak, a uticaj brzine rezanja je zanemarljiv. Takođe se može konstatovati da je za faktor A najveća S/N vrednost na drugom nivou, a za faktore B i C na prvom nivou ($A = 2, B = 1, C = 1$).



Slika 5.2. Dijagram faktora A,B,C

Vrednost za koju dobijamo maksimalnu vrednost S/N odnosa su prikazani u tabeli 5.8. Ova kombinacija daje minimalnu vrednost sile prodiranja za odnos S/N dobijen primenom softverskog programa Qualitek-4. Razlika između računске i eksperimentalne vrednosti je veoma mala.

Tabela 5.8. Optimalna vrednosti režima rezanja

| Kontrolni faktor | Nivo | Vrednost | F_p dobijena pomoću Taguchi metode | F_p dobijena eksperimentalnim putem |
|------------------|------|----------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| v, m/s | 2 | 3,71 | $S/N=-35,723$ $F_p=61,115, N$ | $F_p=63, N$ |
| s_1 , mm/z | 1 | 0,089 | | |
| a, mm | 1 | 0,5 | | |

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

U sledećoj tabeli 5.9., prikazana je početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima, koje su dobijene shodno definisanim koracima pri ANOVA analizi.

Tabela 5.9. Početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Suma kvadrata | Varijacije | F-test |
|--------|----------------------------|-----------------|---------------|------------|---------------|
| | | DF | S | V | F |
| A | Brzina rezanja v , m/s | 2 | 2748,17 | 1374,0 | 0,748 |
| B | Pomak po zubu s_1 , mm/z | 2 | 17306,6 | 8653,3 | 4,710 |
| C | Dubina rezanja a , mm | 2 | 118329,9 | 59164,9 | 32,200 |
| D | Greška | 2 | 3674,8 | 1837,4 | |
| Ukupno | | 8 | 142059,6 | | |

Vrednost F-testa faktora A (Brzine rezanja) je ≤ 1 što znači da varijansa koja dolazi od tih faktora nije veća od varijanse neuračunate greške. Uklanja se faktor A koji nije signifikantan i računa se kao greška u sledećoj interakciji. Nakog uklanjanja faktora A dobija se nova konačna ANOVA tabela 5.10. Oznaka E je uvedena kao i u prvom slučaju za novu grešku okupljanja.

Tabela 5.10. Računske vrednosti u konačnoj ANOVA tabeli

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Varijacije | F-test | Suma kvadrata | Procentualno učešće |
|--------|----------------------------|-----------------|------------|--------|---------------|---------------------|
| | | DF | V | F' | S' | P, % |
| B | Pomak po zubu s_1 , mm/z | 2 | 8653,3 | 5,388 | 14095,19 | 9,922019 |
| C | Dubina rezanja a , mm | 2 | 59164,9 | 36,84 | 115118,4 | 81,03528 |
| E | Greška | 4 | 1605,75 | | 12846,02 | 9,042697 |
| Ukupno | | 8 | | | 142059,6 | 100 |

Vrednosti za analizu signifikantnosti parametara prikazane su u tabeli 5.11., gde su vrednosti F-testa za odabrani nivo poverenja (95% i 99%), stepen slobode faktora ($DF_B = DF_C = 2$) i stepen slobode greške ($DF_E = 4$) uzeti na osnovu Fišerove raspodele.

Tabela 5.11. Signifikantnost faktora

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | F-Test Izračunato | F-Test Tablična vrednost | | Signifikantnost faktora | |
|--------|-------------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------|----------|-------------------------|---------|
| | | DF | F' | 95% | 99% | 95% | 99% |
| | | B | Pomak po zubu s_1 , mm/z | 2 | 5,388964 | 6.9943 | 18.0000 |
| C | Dubina rezanja a , mm | 2 | 36,84562 | Da | Da | | |

Napomena: pomenuti proračun važi za analizu faktora koji su međusobno nezavisni.

ANOVA analizom se potvrđuje da na silu prodiranja tokom čeonog glodanja najviše ima uticaja dubina rezanja. Uticaj pomaka je znatan dok je uticaj brzine rezanja nebitan. Greška od 9 % ukazuje da na model pored posmatranih veličina imaju uticaj i ostali faktori procesa.

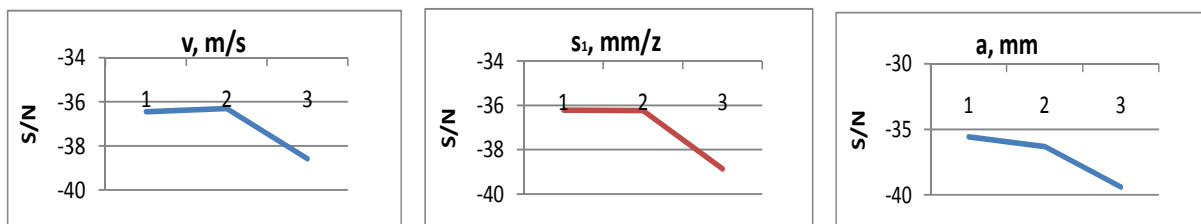
5.3. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji temperature u zoni rezanja KL legure

Model, faktori i nivoi variranja su isti kao u prvom slučaju i dati su u tabeli 5.1. Shodno tome u nastavku je prikazana ortogonalna matrica sa izmerenim vrednostima temperatura u zoni kontakta θ kod KL legure aluminijuma, kao i izračunate vrednosti S/N odnosa za odabrani kriterijum “smaller is better”, tabela 5.12.

Tabela 5.12. Ortogonalna matrica sa izmerenim temperaturama u zoni kontakta θ

| R. br. | Plan eksperimenta | | | | Izmerene vrednosti | | | Srednja izmerena vrednost | S/N odnos |
|--------|-------------------|----------------|---|-------------|--------------------|---------------|---------------|---------------------------|------------------|
| | A | B | C | D | θ_{i1} | θ_{i2} | θ_{i3} | θ_i | S/N _i |
| | v | s ₁ | a | Greška exp. | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 51 | 50 | 49 | 50,000 | -33,9806 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 54 | 53 | 55 | 54,000 | -34,6489 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 108 | 110 | 107 | 108,333 | -40,6958 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 55 | 56 | 54 | 55,000 | -34,8082 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 77 | 78 | 75 | 76,667 | -37,6933 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 0 | 66 | 67 | 65 | 66,000 | -36,3915 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0 | 98 | 100 | 97 | 98,333 | -39,8547 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0 | 66 | 67 | 65 | 66,000 | -36,3915 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 0 | 94 | 96 | 93 | 94,333 | -39,4941 |

Na osnovu prikazanih S/N odnosa kao i plana eksperimenta gde se računaju srednje vrednosni S/N odnosa definiše se grafik i na osnovu njega utvrđuje uticaj pojedinih faktora na temperaturu u zoni rezanja. Sa prikazanog grafika, slika 5.3. videti se da najveći uticaj na vrednost temperature u zoni rezanja ima dubina rezanja, pa onda pomak, i na kraju brzina rezanja. Takođe se može konstatovati da je za faktor A najveća S/N vrednost na drugom nivou, a za faktore B i C na prvom nivou (A = 2, B = 1, C = 1.).



Slika 5.3. Dijagram faktora A,B,C

Optimalni režimi rezanja su prikazani u tabeli 5.13. Na osnovu ove kombinacije parametara pri obradi podataka putem softverskog programa Qualitek-4 dobija se minimalna vrednost temperature. Razlika između računске i eksperimentalno dobijene vrednosti je veoma mala.

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Tabela 5.13. Optimalna vrednosti režima rezanja

| Kontrolni faktor | Nivo | Vrednost | θ dobijena pomoću Taguchi metode | θ dobijena eksperimentalnim putem |
|-----------------------|------|----------|---|--|
| v, m/s | 2 | 3,71 | S/N=-33,889 $\theta=49,482, C^\circ$ | $\theta=50, C^\circ$ |
| s ₁ , mm/z | 1 | 0,089 | | |
| a, mm | 1 | 0,5 | | |

U sledećoj tabeli 5.14., prikazana je početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima, koje su dobijene shodno definisanim koracima pri ANOVA analizi.

Tabela 5.14. Početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Suma kvadrata | Varijacije | F-test |
|--------|-------------------------------------|-----------------|---------------|------------|---------------|
| | | DF | S | V | F |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 675,876 | 337,93 | 30,791 |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 1055,21 | 527,60 | 48,072 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 1902,61 | 951,30 | 86,677 |
| D | Greška | 2 | 21,951 | 10,975 | |
| Ukupno | | 8 | 3655,654 | | |

Za razliku od prethodna dva slučaja, dobijena vrednost F-testa za sva tri faktora je ≥ 1 što znači da varijansa koja dolazi od tih faktora je veća od varijanse ne uračunate greške. Shodno tome ne treba izvršiti odbacivanje pojedinih faktora, već ih treba proveriti sa određenim stepenom poverenja na F- testu. Takođe se može konstatovati da je početna ANOVA tabela u ovom slučaju ujedno i konačna ANOVA tabela, iz razloga što je varijansa svakog pojedinačnog faktora veća od varijanse neuračunate greške. U narednoj tabeli 5.15. prikazano je procentualno učešće pojedinih faktora.

Tabela 5.15. Procentualno učešće

| Naziv | Formula | Procentualno učešće % |
|----------|-------------------------------------|-----------------------|
| Faktor A | $P_A = \frac{S_A}{S_T} \cdot 100\%$ | 18,48852 |
| Faktor B | $P_B = \frac{S_B}{S_T} \cdot 100\%$ | 28,86514 |
| Faktor C | $P_C = \frac{S_C}{S_T} \cdot 100\%$ | 52,04588 |
| Greška | $P_D = \frac{S_D}{S_T} \cdot 100\%$ | 0,600457 |

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Vrednosti za analizu signifikantnosti parametara prikazane su u tabeli 5.16., gde su vrednosti F-testa za odabrani nivo poverenja (95% i 99%), stepen slobode faktora ($DF_B = DF_C = 2$) i stepen slobode greške ($DF_D = 2$) uzeti na osnovu Fišerove raspodele.

Tabela 5.16. Signifikantnost faktora

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | F-Test Izračunato | F-Test Tablična vrednost | | Signifikantnost faktora | |
|--------|----------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|---------|-------------------------|-----|
| | | DF | F' | 95% | 99% | 95% | 99% |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 30,791 | 19.0000 | 99.0000 | Da | Ne |
| B | Pomak po zubu s_1 , mm/z | 2 | 48,072 | | | Da | Ne |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 86,677 | | | Da | Ne |

Napomena: pomenuti proračun važi za analizu faktora koji su međusobno nezavisni.

ANOVA analizom se potvrđuje da na temperaturu u zoni rezanja koja se javljaju tokom čeonog glodanja najviše ima uticaja dubina rezanja. Uticaj pomaka i brzine rezanja je znatan tako da sva tri faktora gledano na 95% nivo poverenja imaju uticaj na temperaturu koja se javlja u zoni rezanja. Uticaj greške koji iznosi 0,6 govori da svi oni parametri koji nisu uključeni u sam eksperiment nisu signifikantni, kao i da greška ne utiče na dobijene rezultate. Time je potvrđena pravilna odluka o izboru uticajnih parametara na temperaturu u zoni kontakta, dobro planiranje eksperimenta, kao i samo izvođenje eksperimenta.

5.4. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji srednje aritmetičke hrapavosti obrađene površine KL legure

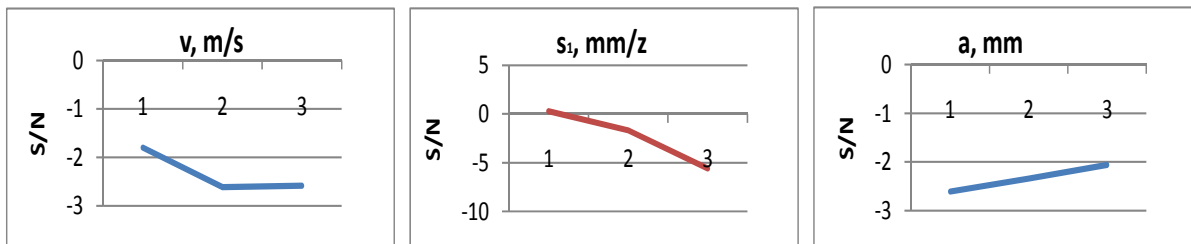
Model, faktori i nivoi variranja su isti kao u prvom slučaju i dati su u tabeli 5.1. Shodno tome u nastavku je prikazana ortogonalna matrica sa izmerenim vrednostima srednje aritmetičke hrapavosti obrađene površine R_a kod KL legure aluminijuma, kao i izračunate vrednosti S/N odnosa za odabrani kriterijum "smaller is better", tabela 5.12.

Tabela 5.17. Ortogonalna matrica sa izmerenom srednjom aritmetičkom hrapavosti obrađene površine R_a

| R. br. | Plan eksperimenta | | | | Izmerene vrednosti | | | Srednja izmerena vrednost | S/N odnos |
|--------|-------------------|-------|---|-------------|--------------------|-------------|-------------|---------------------------|-----------|
| | A | B | C | D | $R_{a\ i1}$ | $R_{a\ i2}$ | $R_{a\ i3}$ | $R_{a\ i}$ | S/N_i |
| | v | s_1 | a | Greška exp. | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,915 | 0,945 | 0,993 | 0,951 | 0,431437 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1,132 | 1,134 | 1,143 | 1,136 | -1,11019 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 1,705 | 1,760 | 1,706 | 1,724 | -4,73003 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0,991 | 0,999 | 0,996 | 0,995 | 0,040581 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 1,221 | 1,237 | 1,233 | 1,230 | -1,80059 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 0 | 2,023 | 2,048 | 1,973 | 2,015 | -6,0851 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0 | 0,969 | 1,018 | 0,885 | 0,957 | 0,364467 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1,258 | 1,399 | 1,185 | 1,281 | -2,16956 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 0 | 1,940 | 2,081 | 1,926 | 1,982 | -5,94895 |

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Na osnovu prikazanih S/N odnosa kao i plana eksperimenta gde se računaju srednje vrednosni S/N odnosa definiše se grafik i na osnovu njega se vidi uticaj pojedinih faktora na srednju aritmetičku hrapavost obrađene površine. To se vidi preko ugla nagiba prave koja povezuje različite nivoe parametara, slika 5.4. Razmatranjem dijagrama konstatuje se da najveći uticaj na vrednost aritmetičke hrapavosti obrađene površine ima pomak po zubu, sledi brzina rezanja i na kraju dubina rezanja. Takođe se vidi da je za faktor A i B najveća S/N vrednost na prvom nivou, a za faktor C na trećem nivou ($A = 1, B = 1, C = 3$).



Slika 5.4. Dijagram faktora A,B,C

Optimalni režimi rezanja su prikazani u tabeli 5.18. Ova kombinacija daje minimalnu vrednost srednje aritmetičke hrapavosti obrađene površine R_a za najpovoljniji S/N odnos. Verifikacija se može izvesti posle optimalnog podešavanja parametara obrade, određenog na osnovu napred definisanog kriterijuma. Razlika između računске i eksperimentalne vrednosti je veoma mala što potvrđuje da je optimizacija uticajnih parametara adekvatno urađena.

Tabela 5.18. Optimalna vrednosti režima rezanja

| Kontrolni faktor | Nivo | Vrednost | R_a dobijena pomoću Taguchi metode | R_a dobijena eksperimentalnim putem |
|------------------|------|----------|--|---------------------------------------|
| v, m/s | 1 | 2,35 | S/N=1,09 $R_a = 0,882, \mu\text{m}$ | $R_a = 0,875, \mu\text{m}$ |
| s_1 , mm/z | 1 | 0,089 | | |
| a, mm | 3 | 2,6 | | |

U sledećoj tabeli 5.19., prikazana je početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima, koje su dobijene shodno definisanim koracima pri ANOVA analizi.

Tabela 5.19. Početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Suma kvadrata | Varijacije | F-test |
|--------|----------------------------|-----------------|---------------|------------|---------------|
| | | DF | S | V | F |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 0,03914 | 0,0195 | 8,435 |
| B | Pomak po zubu s_1 , mm/z | 2 | 1,42080 | 0,7104 | 306,16 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 0,01897 | 0,0094 | 4,090 |
| D | Greška | 2 | 0,005 | 0,0023 | |
| Ukupno | | 8 | 1,484 | | |

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Kao i u prethodnom slučaju vrednost F-testa za sva tri faktora je ≥ 1 što znači da varijansa koja dolazi od tih faktora je veća od varijanse ne uračunate greške pa shodno tome ne treba izvršiti odbacivanje pojedinih faktora, već ih treba proveriti sa određenim stepenom poverenja na F- testu. U narednoj tabeli 5.20. prikazano je procentualno učešće pojedinih faktora.

Tabela 5.20. Procentualno učešće

| Naziv | Formula | Procentualno učešće % |
|----------|-------------------------------------|-----------------------|
| Faktor A | $P_A = \frac{S_A}{S_T} \cdot 100\%$ | 2,638393 |
| Faktor B | $P_B = \frac{S_B}{S_T} \cdot 100\%$ | 95,76952 |
| Faktor C | $P_C = \frac{S_C}{S_T} \cdot 100\%$ | 1,279281 |
| Greška | $P_D = \frac{S_D}{S_T} \cdot 100\%$ | 0,312806 |

Vrednosti za analizu signifikantnosti parametara prikazane su u tabeli 5.21., kao i vrednosti F-testa koje su iste kao i u prethodnom slučaju.

Tabela 5.21. Signifikantnost faktora

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | F-Test Izračunato | F-Test Tablična vrednost | | Signifikantnost faktora | |
|--------|-------------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|---------|-------------------------|-----|
| | | DF | F' | 95% | 99% | 95% | 99% |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 8,435 | 19.0000 | 99.0000 | Ne | Ne |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 306,16 | | | Da | Da |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 4,090 | | | Ne | Ne |

Napomena: pomenuti proračun važi za analizu faktora koji su međusobno nezavisni.

ANOVA analizom se potvrđuje da na srednju aritmetičku hrapavost obrađene površine R_a koja se meri tokom čeonog glodanja najviše ima uticaj pomak po zubu. Uticaj brzine rezanja i dubine rezanja je neznatan, tako da gledano i sa 95% i 99% nivom poverenja dolazimo do istog zaključka da najveću uticaj na aritmetičku hrapavost obrađene površine R_a ima pomak po zubu. Uticaj greške koji iznosi 0,312 govori da greška ne utiče na dobijene rezultate. Time je potvrđena dobro planiranje eksperimenta, kao i samo izvođenje eksperimenta.

5.5. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji maksimalne visine neravnina obrađene površine KL legure

Model, faktori i nivoi variranja su isti kao u prvom slučaju i dati su u tabeli 5.1. Shodno tome u nastavku je prikazana ortogonalna matrica sa izmerenim vrednostima maksimalne visine

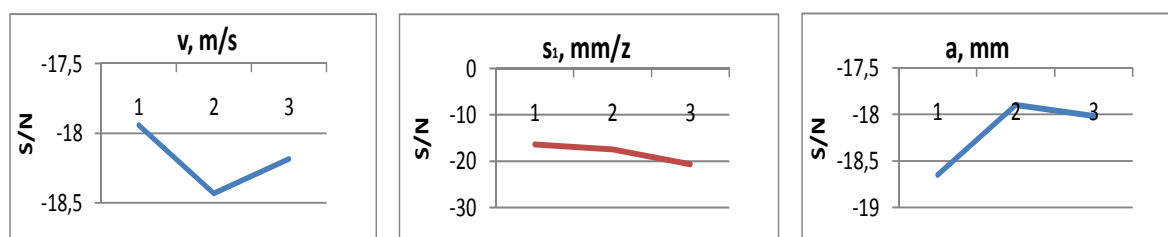
5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

neravna obradene površine R_{max} kod KL legure aluminijuma, kao i izračunate vrednosti S/N odnosa za odabrani kriterijum "smaller is better", tabela 5.22.

Tab. 5.22. Ortogonalna matrica sa izmerenom maksimalne visine neravnina obradene površine R_{max}

| R. br. | Plan eksperimenta | | | | Izmerene vrednosti | | | Srednja izmerena vrednost | S/N odnos |
|--------|-------------------|-------|---|-------------|--------------------|--------------|--------------|---------------------------|-----------|
| | A | B | C | D | $R_{max i1}$ | $R_{max i2}$ | $R_{max i3}$ | $R_{max i}$ | S/N_i |
| | v | s_1 | a | Greška exp. | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 7,06 | 7,650 | 6,440 | 7,050 | -16,9851 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 6,84 | 7,33 | 6,31 | 6,827 | -16,7003 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 10,5 | 10,7 | 9,24 | 10,147 | -20,1441 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 6,41 | 6,76 | 6,3 | 6,490 | -16,2489 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 7,84 | 7,92 | 7,77 | 7,843 | -17,8903 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 0 | 12,2 | 12,5 | 9,31 | 11,337 | -21,1591 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0 | 6,37 | 6,59 | 5,97 | 6,310 | -16,0078 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0 | 7,81 | 8,45 | 6,97 | 7,743 | -17,8051 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 0 | 11,1 | 12 | 9,42 | 10,840 | -20,7426 |

Sa prikazanog grafika, slika 5.5. se može videti da najveći uticaj na maksimalna hrapavost obradene površine R_{max} ima pomak po zubu, pa onda dubina rezanja, i na kraju brzina rezanja. Kao što se može videti za faktor A i B najveća S/N vrednost je na prvom nivou, a za faktor C na drugom nivou ($A = 1, B = 1, C = 2$).



Slika 5.5. Dijagram faktora A,B,C

Optimalni režimi rezanja su prikazani u tabeli 5.23., dobijeni su na osnovu pravila da je optimalna vrednost ona vrednost za koju dobijamo maksimalnu vrednost S/N odnosa.

Tabela 5.23. Optimalna vrednosti režima rezanja

| Kontrolni faktor | Nivo | Vrednost | R_{max} dobijena pomoću Taguchi metode | R_{max} dobijena eksperimentalnim putem |
|------------------|------|----------|---|---|
| v, m/s | 1 | 2,35 | $S/N = -15,883$ $R_{max} = 6,225, \mu m$ | $R_{max} = 5,93, \mu m$ |
| s_1 , mm/z | 1 | 0,089 | | |
| a, mm | 2 | 1,14 | | |

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

U sledećoj tabeli 5.24., prikazana je početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima.

Tabela 5.24. Početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Suma kvadrata | Varijacije | F-test |
|--------|-------------------------------------|-----------------|---------------|------------|---------------|
| | | DF | S | V | F |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 0,45240 | 0,2262 | 1,188 |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 28,9292 | 14,464 | 75,956 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 0,80705 | 0,4035 | 2,119 |
| D | Greška | 2 | 0,381 | 0,1904 | |
| Ukupno | | 8 | 30,570 | | |

Kao i u prethodna dva slučaja vrednost F-testa za sva tri faktora je ≥ 1 što znači da varijansa koja dolazi od tih faktora je veća od varijanse ne uračunate greške pa shodno tome ne treba izvršiti odbacivanje pojedinih faktora, već ih treba proveriti sa određenim stepenom poverenja na F- testu. U narednoj tabeli 5.25. prikazano je procentualno učešće pojedinih faktora.

Tabela 5.25. Procentualno učešće

| Naziv | Formula | Procentualno učešće % |
|----------|-------------------------------------|-----------------------|
| Faktor A | $P_A = \frac{S_A}{S_T} \cdot 100\%$ | 1,479913 |
| Faktor B | $P_B = \frac{S_B}{S_T} \cdot 100\%$ | 94,63411 |
| Faktor C | $P_C = \frac{S_C}{S_T} \cdot 100\%$ | 2,640061 |
| Greška | $P_D = \frac{S_D}{S_T} \cdot 100\%$ | 1,245911 |

Vrednosti za analizu signifikantnosti parametara prikazane su u tabeli 5.26., kao i vrednosti F-testa koje su iste kao i u prethodna dva slučaja.

Tabela 5.26. Signifikantnost faktora

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | F-Test Izračunato | F-Test Tablična vrednost | | Signifikantanost faktora | |
|--------|-------------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|---------|--------------------------|-----|
| | | DF | F' | 95% | 99% | 95% | 99% |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 1,188 | 19.0000 | 99.0000 | Ne | Ne |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 75,956 | | | Da | Ne |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 2,119 | | | Ne | Ne |

Napomena: pomenuti proračun važi za analizu faktora koji su međusobno nezavisni.

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

ANOVA analizom se potvrđuje da na maksimalnu visinu neravnina obrađene površine R_{max} koja se meri tokom čeonog glodanja najviše ima uticaj pomak po zubu. Uticaj brzine rezanja i dubine rezanja je neznatan. Uticaj greške koji iznosi 1,2459 govori da greška ne utiče na dobijene rezultate, odnosno potvrđuje se dobro planiranje i izvođenje eksperimenta.

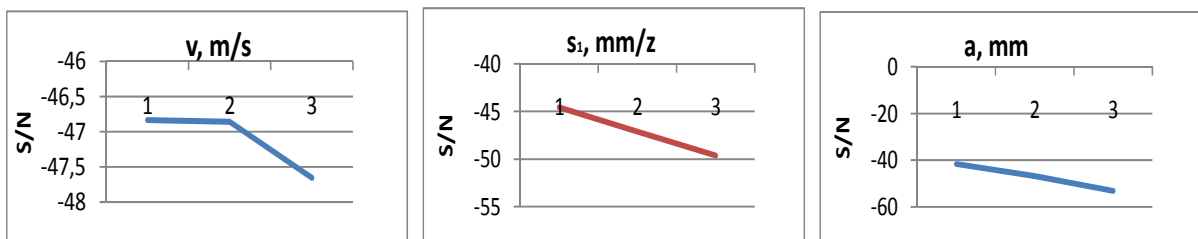
5.6. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji glavne sile rezanja SSM legure

Model, faktori i nivoi variranja su isti kao u prvom slučaju i dati su u tabeli 5.1. Shodno tome u nastavku je prikazana ortogonalna matrica sa izmerenim vrednostima glavne sile rezanja kod SSM legure aluminijuma, kao i izračunate vrednosti S/N odnosa za odabrani kriterijum “smaller is better”, tabela 5.27.

Tabela 5.27. Ortogonalna matrica sa izmerenim glavnim silama rezanja F_g

| R. br. | Plan eksperimenta | | | | Izmerene vrednosti | | | Srednja izmerena vrednost | S/N odnos |
|--------|-------------------|-------|---|-------------|--------------------|-------------|-------------|---------------------------|-----------|
| | A | B | C | D | $F_{g\ i1}$ | $F_{g\ i2}$ | $F_{g\ i3}$ | $F_{g\ i}$ | S/N_i |
| | v | s_1 | a | Greška exp. | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 85 | 91 | 80 | 85,333 | -38,6344 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 223 | 227 | 119 | 189,667 | -45,8516 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 631 | 642 | 622 | 631,667 | -56,0105 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 170 | 180 | 162 | 170,667 | -44,6511 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 423 | 466 | 401 | 430,000 | -52,6865 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 0 | 145 | 150 | 140 | 145,000 | -43,2308 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0 | 332 | 340 | 325 | 332,333 | -50,433 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0 | 137 | 146 | 134 | 139,000 | -42,8661 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 0 | 305 | 312 | 296 | 304,333 | -49,669 |

Sa prikazanog grafika i dobijenih vrednosti S/N odnosa, slika 5.6. se može videti da najveći uticaj na vrednost glavne sile rezanja ima dubina rezanja, pa onda pomak, dok je uticaj brzine rezanja zanemarljiv. Takođe se može konstatovati da je za sva tri faktor A, B i C najveća S/N vrednost je na prvom nivou (A = 1, B = 1, C = 1).



Slika 5.6. Dijagram faktora A,B,C

Optimalni režimi rezanja su prikazani u tabeli 5.28.. Primetno je veoma malo odsupanje eksperimentalnih vrednosti i rezultata dobijenih na osnovu softverske analize.

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Tabela 5.28. Optimalna vrednosti režima rezanja

| Kontrolni faktor | Nivo | Vrednost | F _g dobijena pomoću Taguchi metode | F _g dobijena eksperimentalnim putem |
|-----------------------|------|----------|---|--|
| v, m/s | 1 | 2,35 | S/N=-38,755 F _g =86,646, N | F _g =85, N |
| s ₁ , mm/z | 1 | 0,089 | | |
| a, mm | 1 | 0,5 | | |

U sledećoj tabeli 5.29., prikazana je početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima, koje su dobijene shodno definisanim koracima pri ANOVA analizi.

Tabela 5.29. Početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Suma kvadrata | Varijacije | F-test |
|--------|-------------------------------------|-----------------|---------------|------------|---------------|
| | | DF | S | V | F |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 4886,88 | 2443,4 | 0,388 |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 41736,9 | 20868,4 | 3,313 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 185454,5 | 92727,6 | 14,723 |
| D | Greška | 2 | 12596,5 | 6298,2 | |
| Ukupno | | 8 | 244674,8 | | |

Kao i pri optimizaciji glavne sile kod KL legura nailazi se na slučaj da je vrednost F-testa za faktor A (brzina rezanja) ≤ 1 što znači da varijansa koja dolazi od tih faktora nije veća od varijanse ne uračunate greške. Shodno tome, uklanja se faktor A koji nije signifikantan i računa se kao greška u sledećoj interaciji. Nakog uklanjanja faktora A dobija se nova konačna ANOVA tabela 5.30., gde je nova greška okupljanja prikazana oznakom E.

Tabela 5.30. Računske vrednosti u konačnoj ANOVA tabeli

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Varijacije | F-test | Suma kvadrata | Procentualno učešće |
|--------|-------------------------------------|-----------------|------------|--------|---------------|---------------------|
| | | DF | V | F' | S' | P, % |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 20868,4 | 4,7744 | 32995,26 | 13,48535 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 92727,6 | 21,214 | 176712,8 | 72,22352 |
| E | Greška | 4 | 4370,851 | | 34966,81 | 14,29113 |
| Ukupno | | 8 | | | 244674,8 | 100 |

Vrednosti za analizu signifikantnosti parametara prikazane su u tabeli 5.31.

Tabela 5.31. Signifikantnost faktora

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | F-Test Izračunato | F-Test Tablična vrednost | | Signifikantnost faktora | |
|--------|-------------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|---------|-------------------------|-----|
| | | DF | F' | 95% | 99% | 95% | 99% |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 4,774466 | 6.9943 | 18.0000 | Ne | Ne |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 21,21492 | | | Da | Da |

Napomena: pomenuti proračun važi za analizu faktora koji su međusobno nezavisni.

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

ANOVA analizom se potvrđuje da na glavnu silu rezanja tokom čeonog glodanja aluminijumske legure dobijene SSM procesom najviše ima uticaja dubina rezanja. Uticaj pomaka je znatan, ali ne i presudan dok je uticaj brzine rezanja zanemarljiv. Greška od 14,2% nam ukazuje da na model pored ulaznih veličina imaju uticaj i ostali faktori procesa.

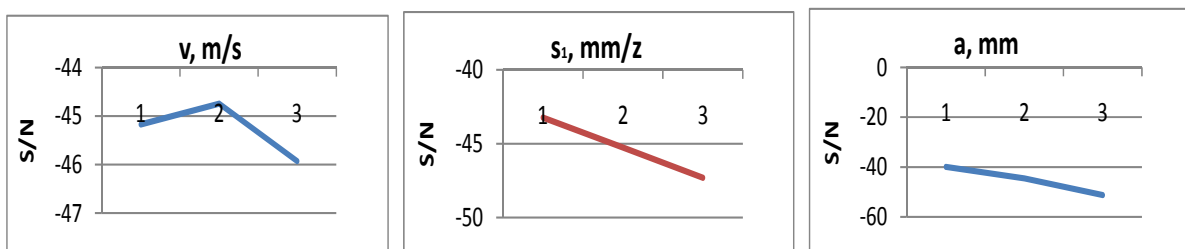
5.7. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji sile prodiranja SSM legure

Model, faktori i nivoi variranja su isti kao u prvom slučaju i dati su u tabeli 5.1. Shodno tome u nastavku je prikazana ortogonalna matrica sa izmerenim vrednostima sile prodiranja kod SSM legure aluminijuma, kao i izračunate vrednosti S/N odnosa za odabrani kriterijum “smaller is better”, tabela 5.32.

Tabela 5.32. Ortogonalna matrica sa izmerenim silama prodiranja F_p

| R. br. | Plan eksperimenta | | | | Izmerene vrednosti | | | Srednja izmerena vrednost | S/N odnos |
|--------|-------------------|-------|---|-------------|--------------------|------------|------------|---------------------------|-----------|
| | A | B | C | D | $F_{p i1}$ | $F_{p i2}$ | $F_{p i3}$ | $F_{p i}$ | S/N_i |
| | v | s_1 | a | Greška exp. | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 79 | 85 | 74 | 79,333 | -38,003 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 152 | 163 | 148 | 154,333 | -43,7765 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 485 | 493 | 478 | 485,333 | -53,7215 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 133 | 147 | 122 | 134,000 | -42,5673 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 342 | 392 | 320 | 351,333 | -50,9462 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 0 | 108 | 117 | 100 | 108,333 | -40,7131 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0 | 287 | 295 | 280 | 287,333 | -49,1697 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0 | 112 | 120 | 107 | 113,000 | -41,0713 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 0 | 238 | 245 | 231 | 238,000 | -47,534 |

Sa prikazanog grafika i dobijenih vrednosti S/N odnosa, slika 5.7., može se videti da najveći uticaj na vrednost sile prodiranja ima dubina rezanja, sledi pomak, dok je uticaj brzine rezanja zanemarljiv. Sa dijagrama se takođe može videti da je za faktor A najveća S/N vrednost na drugom nivou, a za faktore B i C na prvom nivou ($A = 2, B = 1, C = 1$).



Slika 5.7. Dijagram faktora A,B,C

Optimalni režimi rezanja su prikazani u tabeli 5.33., ono su takođe dobijeni su na osnovu pravila da je optimalna vrednost ona vrednost za koju dobijamo maksimalnu vrednost S/N odnosa. Optimalna kombinacija kontrolisanih parametara daje minimalnu vrednost sile prodiranja za odnos S/N dobijenu primenom softverskog programa Qualitek-4.

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Tabela 5.33. Optimalna vrednosti režima rezanja

| Kontrolni faktor | Nivo | Vrednost | F _p dobijena pomoću Taguchi metode | F _p dobijena eksperimentalnim putem |
|-----------------------|------|----------|---|--|
| v, m/s | 2 | 3,71 | S/N=-37,365 F _p =73,833, N | F _p =77, N |
| s ₁ , mm/z | 1 | 0,089 | | |
| a, mm | 1 | 0,5 | | |

U sledećoj tabeli 5.34., prikazana je početna ANOVA tabela.

Tabela 5.34. Početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Suma kvadrata | Varijacije | F-test |
|--------|-------------------------------------|-----------------|---------------|------------|---------------|
| | | DF | S | V | F |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 2690,07 | 1345,0 | 0,471 |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 18761,5 | 9380,7 | 3,286 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 120667,6 | 60333,8 | 21,137 |
| D | Greška | 2 | 5708,96 | 2854,4 | |
| Ukupno | | 8 | 147828,2 | | |

Kao i u prethodnom slučaju vrednost F-testa faktora A (Brzine rezanja) je ≤ 1 što znači da varijansa koja dolazi od tih faktora nije veća od varijanse ne uračunate greške. Uklanja se faktor A koji nije signifikantan i računa se kao greška u sledećoj interaciji. Nakog uklanjanja faktora A dobija se nova konačna ANOVA tabela 5.35.

Tabela 5.35. Računske vrednosti u konačnoj ANOVA tabeli

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Varijacije | F-test | Suma kvadrata | Procentualno učešće |
|--------|-------------------------------------|-----------------|------------|--------|---------------|---------------------|
| | | DF | V | F' | S' | P, % |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 18761,5 | 4,4675 | 14562,04 | 9,850647 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 120667,6 | 28,733 | 116468,1 | 78,78611 |
| E | Greška | 4 | 2099,759 | | 16798,07 | 11,36324 |
| Ukupno | | 8 | | | 147828,2 | 100 |

Vrednosti za analizu signifikantnosti parametara prikazane su u tabeli 5.26., kao i vrednosti F-testa koje su iste kao i u prethodnom slučaju.

Tabela 5.36. Signifikantnost faktora

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | F-Test Izračunato | F-Test Tablična vrednost | | Signifikantnost faktora | |
|--------|-------------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|---------|-------------------------|-----|
| | | DF | F' | 95% | 99% | 95% | 99% |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 4,467549 | 6.9943 | 18.0000 | Ne | Ne |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 28,73368 | | | Da | Da |

Napomena: pomenuti proračun važi za analizu faktora koji su međusobno nezavisni.

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

ANOVA analizom se potvrđuje da na silu prodiranja tokom čeonog glodanja najviše ima uticaja dubina rezanja. Uticaj pomaka je znatan, ali ne i presudan dok je uticaj brzine rezanja nebitan. Greška od 11%3 nam ukazuje da na model veliki uticaj imaju i ostali faktori procesa obrade.

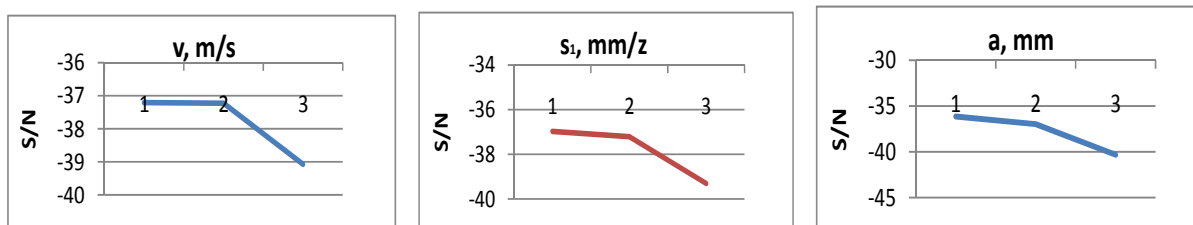
5.8. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji temperature u zoni rezanja SSM legure

Model, faktori i nivoi variranja su isti kao u prvom slučaju i dati su u tabeli 5.1. Shodno tome u nastavku je prikazana ortogonalna matrica sa izmerenim vrednostima temperatura u zoni kontakta θ kod SSM legure aluminijuma, kao i izračunate vrednosti S/N odnosa za odabrani kriterijum "smaller is better", tabela 5.37.

Tabela 5.37. Ortogonalna matrica sa izmerenim temperaturama u zoni kontakta θ

| R. br. | Plan eksperimenta | | | | Izmerene vrednosti | | | Srednja izmerena vrednost | S/N odnos |
|--------|-------------------|----------------|---|-------------|--------------------|---------------|---------------|---------------------------|------------------|
| | A | B | C | D | θ_{i1} | θ_{i2} | θ_{i3} | θ_i | S/N _i |
| | v | s ₁ | a | Greška exp. | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 55 | 56 | 54 | 55,000 | -34,8082 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 60 | 61 | 59 | 60,000 | -35,5638 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 115 | 117 | 114 | 115,333 | -41,2396 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 61 | 60 | 59 | 60,000 | -35,5638 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 93 | 92 | 90 | 91,667 | -39,245 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 0 | 70 | 71 | 68 | 69,667 | -36,8619 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0 | 106 | 108 | 106 | 106,667 | -40,5609 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0 | 69 | 70 | 69 | 69,333 | -36,819 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 0 | 98 | 99 | 97 | 98,000 | -39,8248 |

Na osnovu prikazanih S/N odnosa kao i plana eksperimenta gde se računaju srednje vrednosni S/N odnosa definišu se grafici na osnovu kojih se vide uticaji pojedinih faktora na temperaturu u zoni rezanja. Shodno tome sa prikazanog grafika, slika 5.8., može se videti da najveći uticaj na vrednost temperature u zoni rezanja ima dubina rezanja, pa onda pomak, i na kraju brzina rezanja. Grafici pokazuju i to da je za sva tri faktor A, B i C najveća S/N vrednost na prvom nivou (A = 1, B = 1, C = 1).



Slika 5.8. Dijagram faktora A,B,C

Optimalni režimi rezanja su prikazani u tabeli 5.38. Optimizacija parametara rezanja unutar ponuđenih nivoa faktora, s obzirom na kriterijum "manji je bolji", daje optimalnu računsku vrednost, koja se poredi sa eksperimentalnom vrednosti.

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Tabela 5.38. Optimalna vrednosti režima rezanja

| Kontrolni faktor | Nivo | Vrednost | θ dobijena pomoću Taguchi metode | θ dobijena eksperimentalnim putem |
|------------------|------|----------|---|--|
| v, m/s | 1 | 2,35 | S/N=-34,682 $\theta=54,213, C^\circ$ | $\theta=55, C^\circ$ |
| s_1 , mm/z | 1 | 0,089 | | |
| a, mm | 1 | 0,5 | | |

U sledećoj tabeli 5.39., prikazana je početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima, koje su dobijene shodno definisanim koracima pri ANOVA analizi.

Tabela 5.39. Početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Suma kvadrata | Varijacije | F-test |
|--------|----------------------------|-----------------|---------------|------------|---------------|
| | | DF | S | V | F |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 529,061 | 264,53 | 34,283 |
| B | Pomak po zubu s_1 , mm/z | 2 | 845,135 | 422,56 | 54,765 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 2672,02 | 1336,0 | 173,14 |
| D | Greška | 2 | 15,432 | 7,7160 | |
| Ukupno | | 8 | 4061,654 | | |

Vrednost F-testa faktora za sva tri faktora je ≥ 1 što znači da varijansa koja dolazi od tih faktora je veća od varijanse ne uračunate greške pa shodno tome ne treba izvršiti odbacivanje pojedinih faktora, već ih treba proveriti sa određenim stepenom poverenja na F- testu. U narednoj tabeli 5.40. prikazano je procentualno učešće pojedinih faktora.

Tabela 5.40. Procentualno učešće

| Naziv | Formula | Procentualno učešće % |
|----------|-------------------------------------|-----------------------|
| Faktor A | $P_A = \frac{S_A}{S_T} \cdot 100\%$ | 13,02577 |
| Faktor B | $P_B = \frac{S_B}{S_T} \cdot 100\%$ | 20,80767 |
| Faktor C | $P_C = \frac{S_C}{S_T} \cdot 100\%$ | 65,78661 |
| Greška | $P_D = \frac{S_D}{S_T} \cdot 100\%$ | 0,379946 |

Vrednosti za analizu signifikantnosti parametara prikazane su u tabeli 5.41., gde su vrednosti F-testa za odabrani nivo poverenja (95% i 99%), stepen slobode faktora ($DF_B = DF_C = 2$) i stepen slobode greške ($DF_D = 2$) uzeti na osnovu Fišerove raspodele.

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Tabela 5.41. Signifikantnost faktora

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | F-Test Izračunato | F-Test Tablična vrednost | | Signifikantnost faktora | |
|--------|-------------------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|---------|-------------------------|-----------|
| | | DF | F' | 95% | 99% | 95% | 99% |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 34,283 | 19.0000 | 99.0000 | Da | Ne |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 54,765 | | | Da | Ne |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 173,147 | | | Da | Da |

Napomena: pomenuti proračun važi za analizu faktora koji su međusobno nezavisni.

ANOVA analizom se potvrđuje da na temperaturu u zoni rezanja koja se javljaju tokom čeonog glodanja najviše ima uticaja dubina rezanja, čak i po 99% nivou poverenja. Uticaj pomaka i brzine rezanja je znatan tako da sva tri faktora gledano na 95% nivo poverenja imaju uticaj na temperaturu koja se javlja u zoni rezanja. Uticaj greške koji iznosi 0,379 govori da ostali parametri koji nisu uključeni u sam eksperiment nisu signifikantni, kao i da greška ne utiče na dobijene rezultate. Time je potvrđena pravilna odluka o izboru uticajnih parametara na temperaturu u zoni kontakta, dobro planiranje eksperimenta, kao i samo izvođenje eksperimenta.

5.9. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji srednje aritmetičke hrapavosti obrađene površine SSM legure

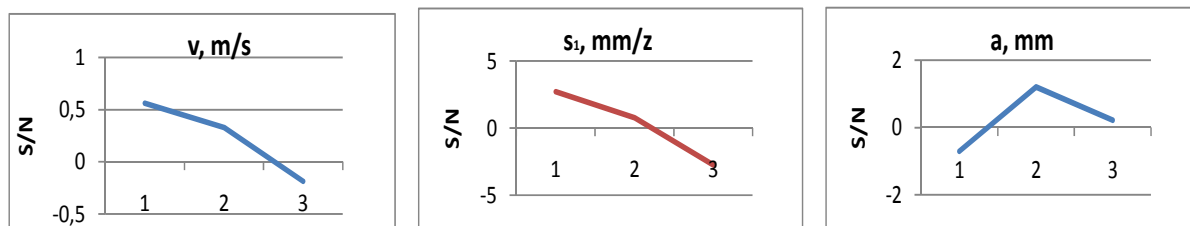
Model, faktori i nivoi variranja su isti kao u prvom slučaju i dati su u tabeli 5.1. Shodno tome u nastavku je prikazana ortogonalna matrica sa izmerenim vrednostima srednje aritmetičke hrapavosti obrađene površine R_a kod SSM legure aluminijuma, kao i izračunate vrednosti S/N odnosa za odabrani kriterijum "smaller is better", tabela 5.42.

Tabela 5.42. Ortogonalna matrica sa izmerenom srednjom aritmetičkom hrapavosti obrađene površine R_a

| R. br. | Plan eksperimenta | | | | Izmerene vrednosti | | | Srednja izmerena vrednost | S/N odnos |
|--------|-------------------|----------------|---|-------------|--------------------|------------|------------|---------------------------|-----------|
| | A | B | C | D | $R_{a i1}$ | $R_{a i2}$ | $R_{a i3}$ | $R_{a i}$ | S/N_i |
| | v | s ₁ | a | Greška exp. | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0,817 | 0,821 | 0,920 | 0,853 | 1,370878 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0,758 | 0,774 | 0,713 | 0,748 | 2,512929 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 1,259 | 1,343 | 1,259 | 1,287 | -2,19568 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 0,568 | 0,680 | 0,634 | 0,627 | 4,026779 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 0,921 | 1,093 | 0,941 | 0,985 | 0,104952 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1,303 | 1,369 | 1,618 | 1,430 | -3,14562 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0 | 0,731 | 0,796 | 0,660 | 0,729 | 2,720314 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0 | 1,048 | 1,089 | 0,979 | 1,039 | -0,33781 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 0 | 1,257 | 1,422 | 1,517 | 1,399 | -2,93983 |

Na definisanih grafika mogu da se vide uticaj pojedinih faktora na srednju aritmetičku hrapavost obrađene površine R_a . Sa prikazanog grafika, slika 5.9., vidi se da najveći uticaj na vrednost srednje aritmetičke hrapavost obrađene površine R_a ima pomak po zubu, pa onda dubina rezanja i brzina rezanja. Takođe se može videti da je za faktor A i B najveća S/N vrednost na prvom nivou, a za faktor C na drugom nivou (A = 1, B = 1, C = 2).

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem



Slika 5.9. Dijagram faktora A,B,C

Optimalni režimi rezanja su prikazani u tabeli 5.43., dobijeni su na osnovu pravila da je optimalna vrednost ona vrednost za koju dobijamo maksimalnu vrednost S/N odnosa. Na osnovu rezultata u tabeli može da se zaključi da praktčno nema razlike između računске vrednosti dobijene eksperimentalne vrednosti.

Tabela 5.43. Optimalna vrednosti režima rezanja

| Kontrolni faktor | Nivo | Vrednost | R _a dobijena pomoću Taguchi metode | R _a dobijena eksperimentalnim putem |
|-----------------------|------|----------|---|--|
| v, m/s | 1 | 2,35 | S/N=3,996 R _a =0,631 μm | R _a =0,632 μm |
| s ₁ , mm/z | 1 | 0,089 | | |
| a, mm | 2 | 1,14 | | |

U nastavku je prikazana početna ANOVA tabela, slika 5.44.

Tabela 5.44. Početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Suma kvadrata | Varijacije | F-test |
|--------|-------------------------------------|-----------------|---------------|------------|---------------|
| | | DF | S | V | F |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 0,01296 | 0,0064 | 0,612 |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 0,63975 | 0,3198 | 30,208 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 0,05035 | 0,0251 | 2,378 |
| D | Greška | 2 | 0,02118 | 0,0105 | |
| Ukupno | | 8 | 0,72425 | | |

Vrednost F-testa faktora A (Brzine rezanja) je ≤ 1 što znači da varijansa koja dolazi od tih faktora nije veća od varijanse ne uračunate greške. Uklanja se faktor A koji nije signifikantan i računa se kao greška u sledećoj interaciji. Nakog uklanjanja faktora A dobija se nova konačna ANOVA tabela 5.45.

Tabela 5.45. Računske vrednosti u konačnoj ANOVA tabeli

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Varijacije | F-test | Suma kvadrata | Procentualno učešće |
|--------|-------------------------------------|-----------------|------------|--------|---------------|---------------------|
| | | DF | V | F' | S' | P, % |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 0,0064 | 37,477 | 0,622684 | 85,97626 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 0,3198 | 2,9498 | 0,033285 | 4,5958 |
| E | Greška | 4 | 0,008535 | | 0,068282 | 9,427935 |

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Vrednosti za analizu signifikantnosti parametara prikazane su u tabeli 5.46., gde su vrednosti F-testa za odabrani nivo poverenja (95% i 99%), stepen slobode faktora ($DF_B = DF_C = 2$) i stepen slobode greške ($DF_E = 4$) uzeti na osnovu Fišerove raspodele.

Tabela 5.46. Signifikantnost faktora

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | F-Test Izračunato | F-Test Tablična vrednost | | Signifikantnost faktora | |
|--------|----------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|---------|-------------------------|-----|
| | | DF | F' | 95% | 99% | 95% | 99% |
| B | Pomak po zubu s_1 , mm/z | 2 | 37,47724 | 6.9943 | 18.0000 | Da | Da |
| C | Dubina rezanja a , mm | 2 | 2,949865 | | | Ne | Ne |

Napomena: pomenuti proračun važi za analizu faktora koji su međusobno nezavisni.

ANOVA analizom se potvrđuje da na srednju aritmetičku hrapavost obrađene površine R_a koja se meri tokom čeonog glodanja najviše ima uticaj pomak po zubu. Uticaj brzine rezanja i dubine rezanja neznatan. Greška od 9,4% nam ukazuje da i na ovaj model pored ulaznih veličina imaju uticaj i ostali faktori procesa.

5.10. Optimizacija parametara procesa obrade u funkciji maksimalne visine neravnina obrađene površine SSM legure

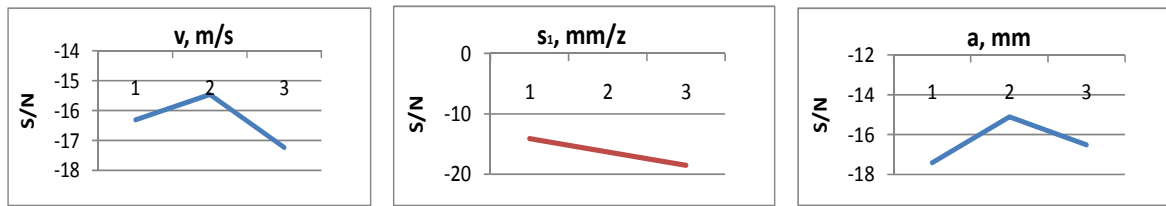
Model, faktori i nivoi variranja su isti kao u prvom slučaju i dati su u tabeli 5.1. Shodno tome u nastavku je prikazana ortogonalna matrica sa izmerenim vrednostima maksimalne visine neravnina obrađene površine R_{max} kod SSM legure aluminijuma, kao i izračunate vrednosti S/N odnosa za odabrani kriterijum "smaller is better", tabela 5.47.

Tab.5.47. Ortogonalna matrica sa izmerenom maksimalnom hrapavosti obrađene površine R_{max}

| R. br. | Plan eksperimenta | | | | Izmerene vrednosti | | | Srednja izmerena vrednost | S/N odnos |
|--------|-------------------|-------|---|-------------|--------------------|--------------|--------------|---------------------------|-----------|
| | A | B | C | D | $R_{max i1}$ | $R_{max i2}$ | $R_{max i3}$ | $R_{max i}$ | S/N_i |
| | v | s_1 | a | Greška exp. | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 5,90 | 6,52 | 5,61 | 6,010 | -15,5948 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 0 | 5,76 | 6,11 | 5,41 | 5,760 | -15,2191 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 0 | 7,91 | 8,76 | 7,45 | 8,040 | -18,1249 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | 3,34 | 3,45 | 4,32 | 3,703 | -11,4323 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 0 | 6,3 | 6,83 | 5,96 | 6,363 | -16,0874 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 0 | 8,78 | 9,34 | 8,14 | 8,753 | -18,8571 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 0 | 5,6 | 6,19 | 5,63 | 5,807 | -15,288 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 0 | 7,48 | 7,65 | 8,04 | 7,723 | -17,7601 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 0 | 8,47 | 9,33 | 7,85 | 8,550 | -18,6611 |

Sa prikazanog grafika i dobijenih vrednosti S/N odnosa, slika 5.10. se može videti da najveći uticaj na vrednost maksimalne visine neravnina obrađene površine ima pomak po zubu, sledi dubina rezanja, i na kraju brzina rezanja.. Takođe se može konstatovati da je za faktor B najveća S/N vrednost na prvom nivou, a za faktore A i C na drugom nivou ($A = 2$, $B = 1$, $C = 2$).

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem



Slika 5.10. Dijagram faktora A,B,C

Optimalni režimi rezanja su prikazani u tabeli 5.48.

Tabela 5.48. Optimalna vrednosti režima rezanja

| Kontrolni faktor | Nivo | Vrednost | R _{max} dobijena pomoću Taguchi metode | R _{max} dobijena eksperimentalnim putem |
|-----------------------|------|----------|---|--|
| v, m/s | 2 | 3,71 | S/N=-11,998 R _{max} =3,98 μm | R _{max} =4,32 μm |
| s ₁ , mm/z | 1 | 0,089 | | |
| a, mm | 2 | 1,14 | | |

U nastavku je prikazana početna ANOVA tabela, slika 5.49.

Tabela 5.49. Početna ANOVA tabela sa popunjenim vrednostima

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | Suma kvadrata | Varijacije | F-test |
|--------|-------------------------------------|-----------------|---------------|------------|---------------|
| | | DF | S | V | F |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 1,86228 | 0,9311 | 5,215 |
| B | Pomak po zubu s ₁ , mm/z | 2 | 16,1590 | 8,0795 | 45,248 |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 3,33547 | 1,6677 | 9,340 |
| D | Greška | 2 | 0,357 | 0,1785 | |
| Ukupno | | 8 | 21,714 | | |

Vrednost F-testa faktora za sva tri faktora je ≥ 1 što znači da varijansa koja dolazi od tih faktora je veća od varijanse ne uračunate greške pa shodno tome ne treba izvršiti odbacivanje pojedinih faktora, već ih treba proveriti sa određenim stepenom poverenja na F- testu. U narednoj tabeli 5.50. prikazano je procentualno učešće pojedinih faktora.

Tabela 5.50. Procentualno učešće

| Naziv | Formula | Procentualno učešće % |
|----------|-------------------------------------|-----------------------|
| Faktor A | $P_A = \frac{S_A}{S_T} \cdot 100\%$ | 8,576478 |
| Faktor B | $P_B = \frac{S_B}{S_T} \cdot 100\%$ | 74,41787 |
| Faktor C | $P_C = \frac{S_C}{S_T} \cdot 100\%$ | 15,361 |
| Greška | $P_D = \frac{S_D}{S_T} \cdot 100\%$ | 1,644653 |

5.0. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem

Vrednosti za analizu signifikantnosti parametara prikazane su u tabeli 5.41., gde su vrednosti F-testa za odabrani nivo poverenja (95% i 99%), stepen slobode faktora ($DF_B = DF_C = 2$) i stepen slobode greške ($DF_D = 2$) uzeti na osnovu Fišerove raspodele.

Tabela 5.51. Signifikantnost faktora

| Oznaka | Naziv faktora | Stepeni slobode | F-Test Izračunato | F-Test Tablična vrednost | | Signifikantanost faktora | |
|--------|----------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------|---------|--------------------------|-----|
| | | DF | F' | 95% | 99% | 95% | 99% |
| A | Brzina rezanja v, m/s | 2 | 5,215 | 19.0000 | 99.0000 | Ne | Ne |
| B | Pomak po zubu s_1 , mm/z | 2 | 45,248 | | | Da | Ne |
| C | Dubina rezanja a, mm | 2 | 9,340 | | | Ne | Ne |

Napomena: pomenuti proračun važi za analizu faktora koji su međusobno nezavisni.

ANOVA analizom se potvrđuje da na maksimalnu visinu neravnina obrađene površine R_{max} koja se javljaju tokom čeonog glodanja najviše ima uticaj pomak po zubu. Uticaj brzine rezanja i dubine rezanja je neznatan, dok uticaj greške koji iznosi 1,644 govori da greška ne utiče na dobijene rezultate. Time je potvrđena dobro planiranje eksperimenta, kao i samo izvođenje eksperimenta.

6.0. SIMULACIJA PROCESA OBRADE ČEONOG GLODANJA POMOĆU METODE KONAČNIH ELEMENATA

U prvobitnoj fazi svog razvoja, analiza uz pomoć metode konačnih elemenata (MKE) je bila predmet interesovanja isključivo u domenu analize napona. Obim i složenost zadataka pri tom su bili sputani skromnijim računarskim resursima i brzinom, što je primenu analize uz pomoć MKE u najvećem broju slučajeva svodilo na analizu pomeranja čvorova i naponskih stanja u cilju povećanja sigurnosti za najodgovornije konstrukcije i analizu uzroka havarija na različitim konstrukcijama.

Porast procesorke moći računara omogućio je značajno poboljšanje odnosa između cene sistema i njihovih performansi, što je rezultovalo povećanim brojem onih korisnika u industriji, koji su sisteme zasnovane na MKE integrisali u proces konstruisanja i izrade proizvoda. Od tog perioda uočavaju se dve karakteristične tendencije u razvoju sistema MKE:

1. Poboljšanje korisničkog interfejsa u smislu olakšane komunikacije sa korisnikom i integracija odgovarajućih softverskih interfejsa.
2. Omogućavanje adaptivnog generisanja mreže konačnih elemenata da se omoguće efikasne modifikacije na mreži, bez potrebe za ponavljanjem postupka.

Proteklih godina, analiza MKE je postala glavna metoda u procesu simulacije rezanja metala. Sve su prisutniji programski paketi bazirani na MKE koji su prilagođeni ili čak isključivo namenjeni simulaciji procesa obrade rezanjem.

Programski paket Deform

Polazeći od brojnih mogućnosti koje, na polju primene metoda konačnih elemenata, pruža programski sistem Deform i njegov modul 3D Deform, u ovom radu je izvršena simulacija nastajanja strugotine pri procesu obrade glodanjem.

Deform je najrasprostranjeniji softver za simulaciju procesa deformacije metala u svetu. Razvijen je od strane kompanije SFTC, koja nudi niz sistema i modula, kako bi se osiguralo da ovaj sistem ispunjava sve zahteve simulacije.

Deform je specijalno dizajniran za preciznu, brzu i povoljnu simulaciju hladnih, toplih i vrelih proizvodnih operacija za pretforme optimizacije procesa, rešavanje problema i analizu napona na alatima. Pakete 2D i 3D programa koriste razni proizvođači aerodinamične, nuklearne, automobilske industrije i industrijske opreme, kao i vodeći istraživački instituti, koji su uključeni u metalurgiju i u unapređivanju proizvodnje.

Vrlo je isplativa aplikacija za procesne tehnologije, tako da je Deform poznat po tome da ima značajne prednosti, među kojima su:

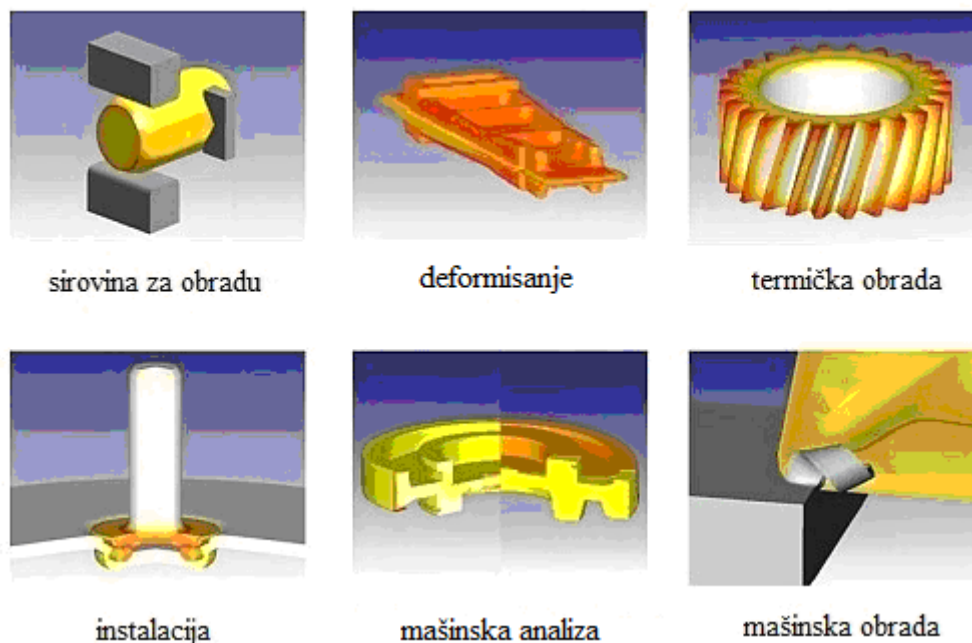
- Razvoj novih inovativnih metoda proizvodnje,
- Smanjenje vremena ispitivanja,
- Bolja kontrola procesa i kvaliteta,
- Mogućnost korišćenja robusnijih alata.

Deform nudi fleksibilno pakovanje da obezbedi optimalno rešenje za potrebe modeliranja. Zajedničke komponente sistema su u celosti iskorišćene. Primena specifičnog GUI (grafički korisnički interfejs) pojednostavljuje unos podataka i postprocesiranje.

Primena i karakteristike Deform programskog sistema

Domeni primene Deform softverskog paketa se mogu videti sa slike 6.1. Podmoduli koji imaju svoju zastupljenost u rešavanju inženjerskih problema se ogledaju kroz sledeća navođenja:

- Deform-3D je fleksibilan i otvoren sistem sposoban za analiziranje širokog spektra deformacionih, termalnih i mikrostrukturnih procesa koji zahtevaju trodimenzionalno modeliranje.
- Deform-2D je fleksibilan i otvoren sistem sposoban za analiziranje širokog spektra procesa, kada je dvodimenzionalno rešenje prikladno.
- Forming Express (3D) je jednostavan za korišćenje trodimenzionalnog modeliranja sistema uz analizu, crtanje, podešavanje i druge zajedničke procese.
- Forming Express (2D) je jednostavan za korišćenje kod dvodimenzionalnih sistema za osnosimetrično (okruglo) i plansko modeliranje.
- Deform-HT može biti licenciran kao samostalni program za simulaciju procesa termičke obrade i razvoj mikrostrukture. Alternativno, mikrostrukturni modul može da se doda u Deform-2D ili Deform-3D i omogući razvoj mikrostrukture tokom deformacije.
- Programski sistem Deform nudi niz modula sa naprednim mogućnosti.



Slika 6.1. Domeni primene Deform softverskog paketa

Deform je jedan od najpoznatijih programskih paketa za modeliranje pomoć sistema zasnovanih na MKE i poseduje mnoge mogućnosti analiziranja dobijenih rezultata, od jednostavnih (linearnih i statičkih analiza) do kompleksnih (nelinearnih dinamičkih analiza).

Analiza u ovom programskom paketu zasniva se na tri glavna zadatka:

- *Preprocesiranje* (definisavanje i oblikovanje modela),
- *Procesiranje* (primena opterećenja i dobijanje rezultata) i
- *Postprocesiranje* (analiza dobijenih rezultata).

6.1. Modeliranje procesa čeonog glodanja

6.1.1. Izrada geometrijskog modela

Geometriju modela moguće je kreirati u nekom od CAD programskih paketa, usled čega je ubrzano i olakšano modeliranje objekata složene konfiguracije. Glodalo sa pločicom je izmodelirano u programskom paketu Pro/Engineer Creo, pri čemu su dimenzije uzete sa glodala i pločice koje su korišćene pri eksperimentu.

6.1.2. Definisane svojstava materijala

Prilikom statičke, dinamičke i drugih analiza, kao prvi korak neophodno je definisati materijale modela koji se posmatraju. U okviru programskog paketa DEFORM nalazi se biblioteka sa nekim materijalima i njihovim karakteristikama.

Karakteristike materijala mogu biti:

- Linearne i nelinearne;
- Izotropne, ortotropne i anizotropne;
- Zavisne i nezavisne od radne temperature

Kod izotropnih materijala to su:

- Modul elastičnosti;
- Poasonov koeficijent;
- Modul klizanja;
- Modul elastičnosti u jednom pravcu;
- Koeficijent trenja;
- Koeficijent toplotne provodljivosti;
- Specifična toplota.

Ukoliko materijal ne postoji u biblioteci materijala, njegove karakteristike mogu se definisati i dodati u biblioteku.

Svaki model možemo da definišemo da li je on krut ili fleksibilan (Rigid, Flexible), od kog je materijala i tako dalje. U ovom slučaju je odabrano da pločica, odnosno glodalo bude krut model, a materijal obratka fleksibilan, odnosno da je sklon plastičnom deformisanju.

Definisan je materijal obratka AL7075, dok je za materijal pločice odabran TiC. Oba materijala su izabrani iz biblioteke materijala 3D. Pošto su jako male razlike u merenim temperaturama za oba tipa livenih legura aluminijuma, odnosno sama greška simulacije ne može biti veća od 5-10 °C, koliko je iznosila razlika u izmerenim vredostima, akcenat nije stavljen na različitost legura.

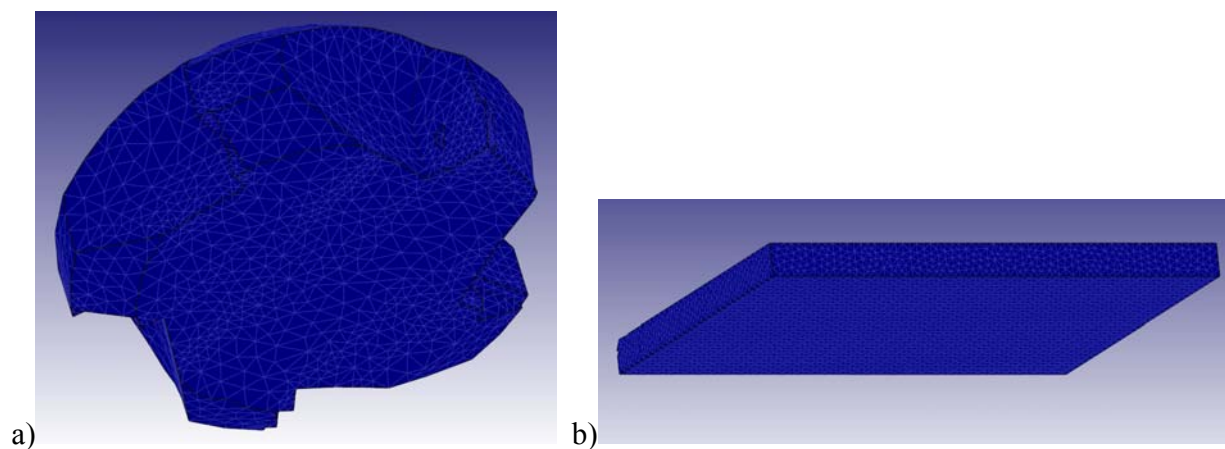
6.1.3. Uvoz modela

Model koji se izrađuje u nekom programskom paketu snima se kao STL fail ili fail sa ekstenzijama programa u kome je rađen, a zatim se importuje u DEFORM. Kako bi se model uopšte mogao ovako generisati potrebno je posedovanje određenih programskih sistema koji mogu ostvariti neposrednu vezu sa DEFORM-om ili posredno, ukoliko programski sistemi podržavaju STL translator.

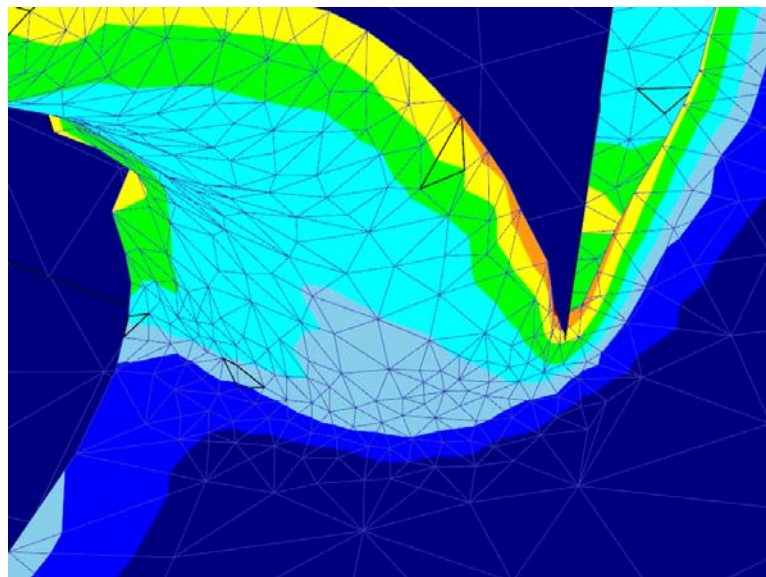
6.1.4. Definisanje parametara za simulaciju

Prilikom podešavanja same simulacije, korišćen je broj obrtaja glodala od 1120 o/min, translatorno kretanje obratka od 4,16 mm/s ($s=250$ mm/min), dok je dubina glodanja iznosila 1,14 mm, odnosno izabran je režim 21 iz plana eksperimenta prikazanog u tabeli 4.30. Dužina obratka je 80 mm, širina 100 mm, a debljina 8 mm. Model obratka je smanjen u odnosu na obradak iz eksperimenta, zbog smanjenja zapremine i radi boljeg generisanja mreže.

Veličina generisane mreže na alatu je 25000 elemenata (slika 6.2.a), a na obratku je 80000 elemenata (slika 6.2.b.). U samom procesu obrade, automatski dolazi do generisanja oko 7 puta po veličini sitnijih elemenata u odnosu na generisanu mrežu, slika 6.3. Ovo je velika ušteda u obradi simulacija, jer program mrežu generiše tamo gde je potrebno, a ne po celoj zapremini.



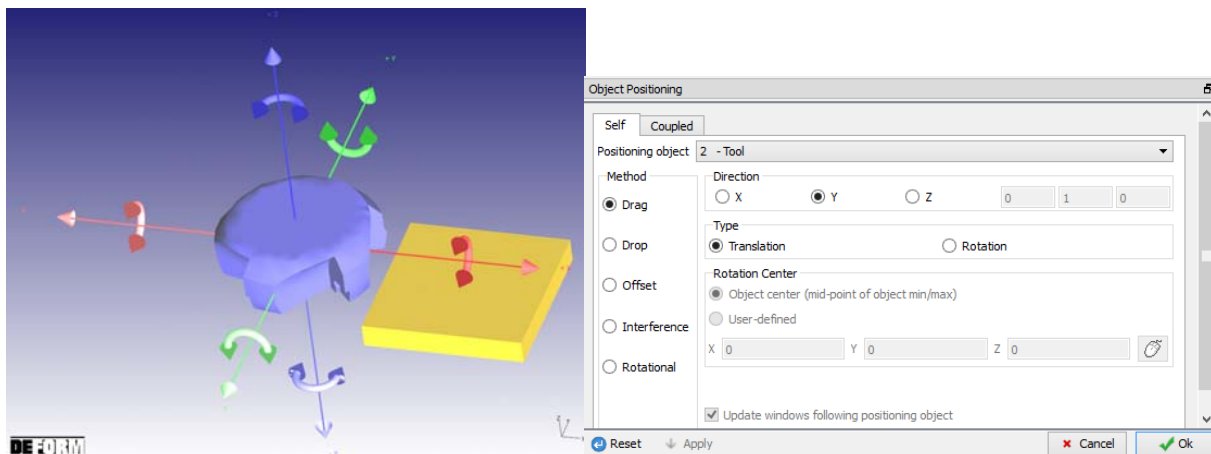
6.2. Veličina generisane mreže a) na alatu b) na obratku



Slika 6.3. Generisanje elemenata u zoni rezanja u odnosu na generisanu mrežu celog modela

Pozicioniranje se vrši u tro-osnom koordinatnom sistemu, gde se tačno može definisati položaj modela, slika 6.4.

6.0. Simulacija procesa obrade čeonog glodanja pomoću metode konačnih elemenata



Slika 6.4. Pozicioniranje u tro-osnom koordinatnom sistemu

Na slici 6.5. se može videti maksimalni broj stepova od 80000, koji su podešeni pri ovoj simulaciji, a nakon svakog 25-og stepa automatski se snima trenutna promena.

Automatsko snimanje simulacije posle nekoliko napravljenih stepova je od velikog značaja, jer u svakom trenutku može da se nastavi obrada simulacije, bez gubitaka podataka. Ovo je veoma velika prednost, u odnosu na druge srodne softvere. Nestanak struje, pad operativnog sistema je u većini slučajeva nepredvidivo, pa se nastavljanje simulacije koja traje po više časova, može lako nastaviti. Prikazana jednačina kretanja i vrednosti $a=1e-05$ i $b=1000$, koje je program sam definisao za zadatu simulaciju, takode su prikazani na slici 6.5.

Simulation Controls

Number of simulation steps: 80000

Step increment to save: 25 Advanced ...

Arc angle to cut: 30005 Deg

Tool wear calculation with Usui model

a: 1e-05 b: 1000

$$w = \int apVe^{-b/T} dt$$

P = interface pressure; v = sliding velocity;
T = interface temperature (in degrees absolute);
dt = time increment; a,b = experimentally calibrated coefficients

Close opr < Back Next >

Slika 6.5 . Prikaz podešavanja parametara za simulaciju

6.1.5. Definisanje tipa analize i graničnih uslova

Granični uslovi određuju granicu objekata u interakciji sa drugim objektom i sa okruženjem. Najčešće korišćeni granični uslovi su za razmenu toplote sa okolinom. Pored tih uslova koji se koriste pri simulaciji prenosa toplote postoje i uslovi za:

- propisanu brzinu pri definisanju problema,
- propisanu snagu za analizu napona na alatu, a sve u cilju prikazivanja kontakta između objekata u modelu.

Granični uslovi su karakteristični i sprovode se na čvorovima mreža konačnih elemenata. Osnovni postupak za postavljanje bilo kog graničnog uslova osim kontakta je isti:

1. Izabrati odgovarajući uslov,
2. Izabrati smer (gde je primenljivo),
3. Izabrati čvorove na kojima će se primenjivati granični uslovi koristeći jedan od alata,
4. Primeniti granične uslove.

Neki od graničnih uslova koji mogu da se definišu su navedeni u nastavku:

Brzina

Brzina svakog od čvorišta može biti nezavisno prikazana u X i Y pravcima (ili X, Y i Z pravcu u 3D). Brzina graničnih uslova se postavlja na nulu za uslove simetričnosti, ali takođe može biti podešena na određenu ne-nultu vrednost za proces gde se obradak provlači kroz kalup.

Sila

Granični uslovi sile određuju silu na čvoru od eksternog objekta. Sila se navodi u standardnim jedinicama. Za analizu napona na krutom modelu koji nije sklon defomisanju, sila koju taj model prenosi na obradak se može i na njemu samom definisati uz pomoć odgovarajućih funkcija interpolacije.

Pritisak

Granični uslovi pritiska određuju se ujednačeno ili linearno variraju, a sila po jedinici površine na elementu povezana je sa navedenim čvorovima.

Pomeranje i skupljanje

Specifično pomeranje može biti navedeno u bilo kom pravcu za svaki čvor. To se često koristi za određivanje uslova skupljanja između modela u simulaciji.

Kretanje

Kretanje čvorova na objektu može se odrediti, ako je naveden granični uslov kretanja, a kontrola pokreta objekta takođe mora biti navedena.

Kontakt

Granični uslov kontakta prikazuje uslov graničnog kontakta internog objekta na određenom objektu. Korisnik treba da stekne iskustvo sa programskim paketom pre korišćenja ove opcije. Uslovi kontakta se skladište u tri komponente koje predstavljaju činjenicu da postoje tri stepena slobode za bilo koji čvor.

Razmena toplote sa okolinom

Ovaj granični uslov precizira razmenu toplote između graničnih elemenata sa svojim čvorovima iz njihovog okruženja. Granični uslov kontakta određuje da li se razmena vrši sa atmosferom ili u kontaktu sa drugim objektom.

Toplotni fluks

Navodi energetska fluks po jedinici površine preko površine elementa koja je ograničena čvorovima. Jedinice su energija/vreme/prostor.

Toplota u čvorovima

Navodi izvor toplote u datim čvorovima. Jedinice su energija/vreme.

Temperatura

Navodi fiksnu temperaturu na datim čvorovima.

Razmene toplote „prozora“

Ova funkcija omogućava korisniku da definiše uslove za razmenu toplote u lokalnim sredinama na telu pomoću trodimenzionalnih prozora.

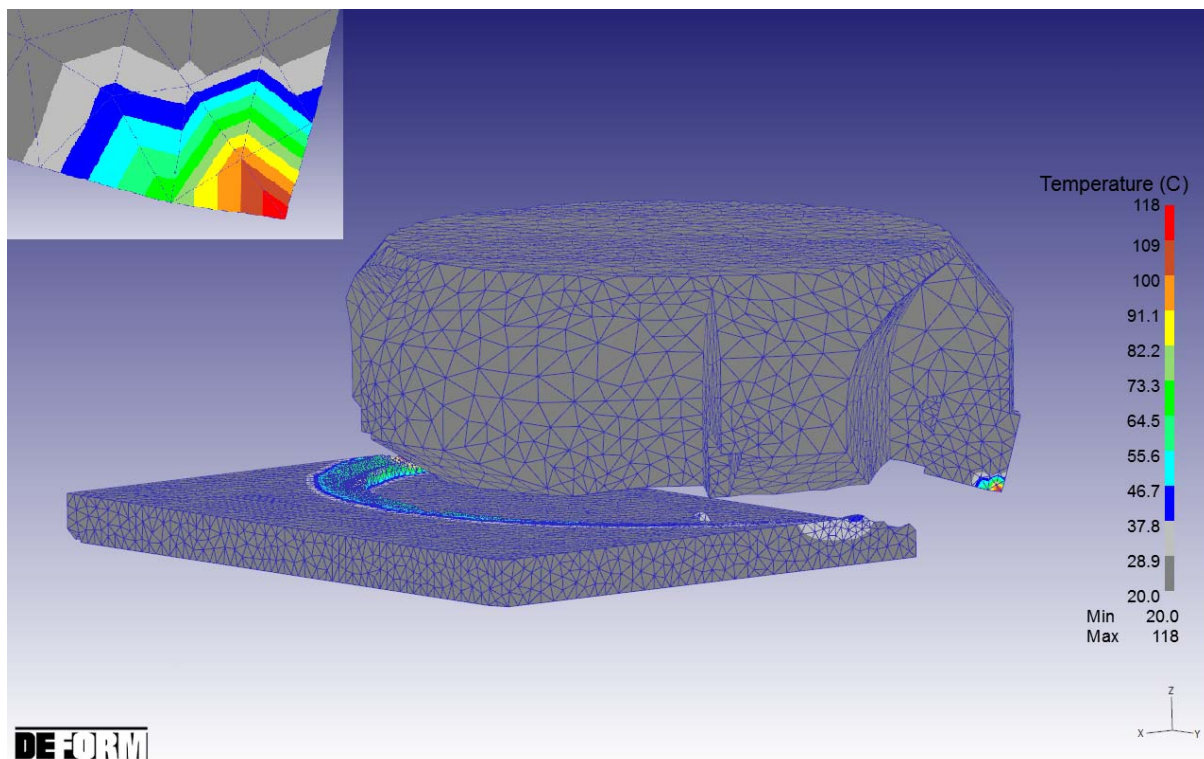
6.1.6. Definisanje toplotnog opterećenja

Početna temperatura alata i obratka u simulaciji su 20°C.

6.2. Simulacija procesa glodanja

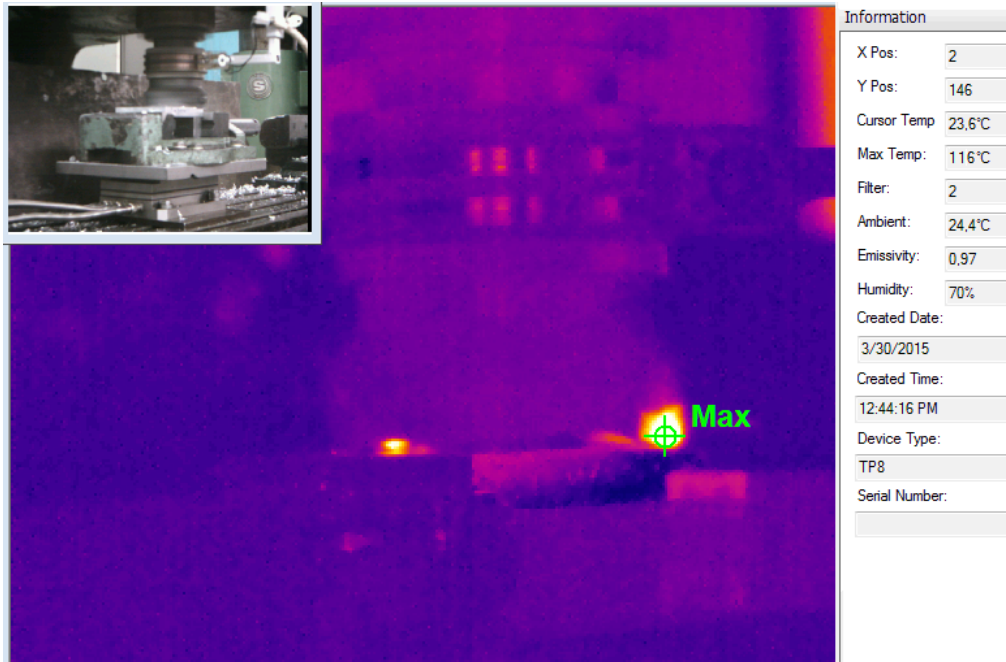
6.2.1. Simulacija 1

U nastavku su prikazane simulacije dobijene pri modeliranju procesa obrade glodanjem sa jednom pločicom od TM. Na slici 6.6. je prikazan položaj alata pre samog ulaska u zahvat nakon što je alat zauzeo najveću moguću širinu glodanja. Sa slike se vidi da je maksimalna temperatura na vrhu alata iznosila 118°C. Ova temperatura se potvrđuje i eksperimentalnim merenjem posredstvom termokamere koja u tom položaju prikazuje 116°C, slika 6.7. Znači može se reći da sama simulacija dobro predviđa proces rezanja. Položaj u kom je prikazana simulacija je pri 3800 stepu.



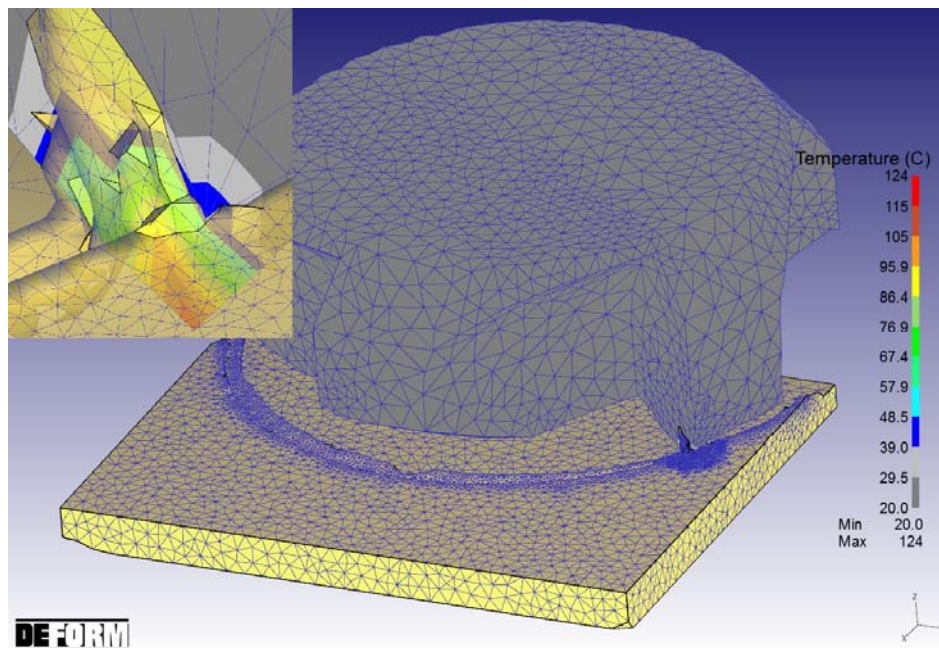
Slika 6.6. Položaj alata pre samog ulaska u zahvat, 3800 step

6.0. Simulacija procesa obrade čeonog glodanja pomoću metode konačnih elemenata



Slika 6.7. Eksperimentalno merenje temperature posredstvom termokamere

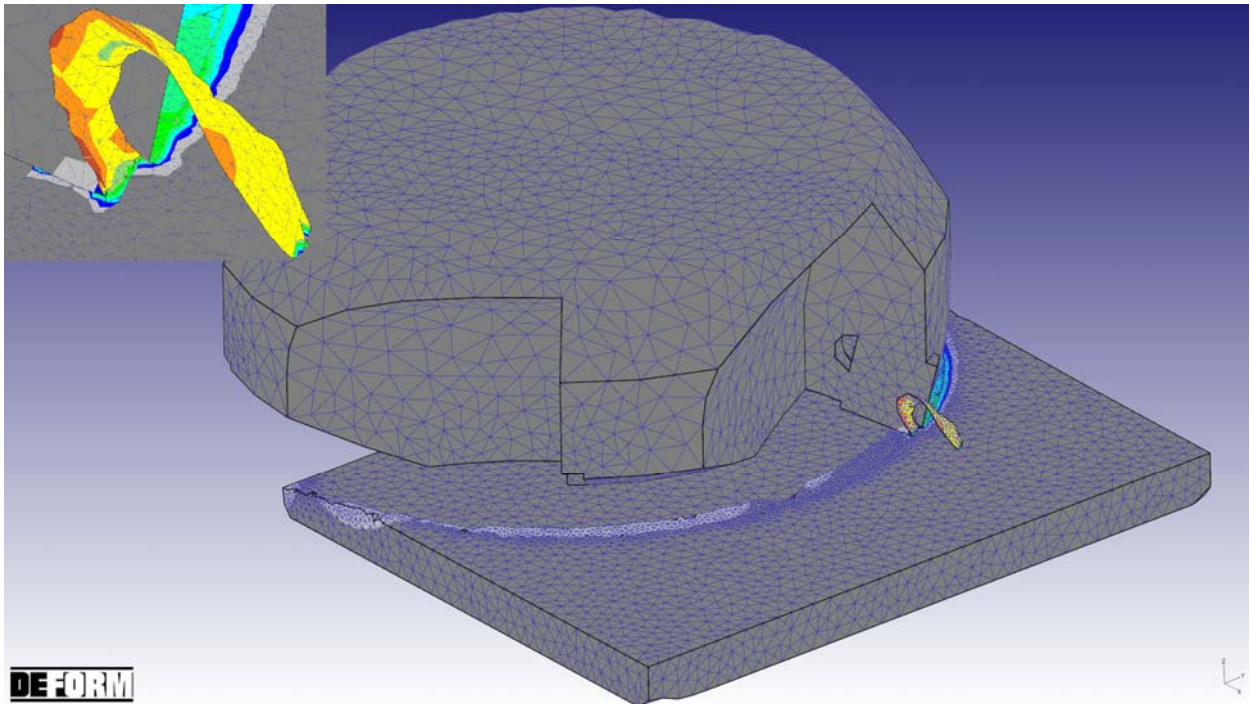
Naredne slike prikazuju model simulacije u samom zahvatu, gde se temperature porede sa eksperimentalnim temperaturama izmerenim posredstvom termopara na odstojanju od 0,5 mm od grudne površine alata i 1,5 mm od leđne površine alata, ranije prikazana slika 3.10. Odnosno tačka u kojoj je merena temperatura, nije položaj (polje) u kom simulacija pokazuje maksimalnu temperaturu, već je nekoliko polja niže. Shodno tome na slici 6.8. je prikazan položaj alata u samom procesu početka stvaranja strugotine, step 4550.



Slika 6.8. Položaj alata u samom procesu početka stvaranja strugotine, step 4550

6.0. Simulacija procesa obrade čeonog glodanja pomoću metode konačnih elemenata

Na slici 6.9. prikazan je položaj alata gde se formira strugotina, step 4942. Ovaj prikaz služi da pokaže simulirani oblik strugotine pri istim režimima obrade dobijen eksperimentalnim putem, koji je prikazan na slici 6.10. Neposredno posle ovog stepa u simulaciji je odlomljena strugotina. Ako se uporedi oblik strugotine eksperimentalno dobijen i posredstvom simulacije, može se konstatovati da su približno identični.



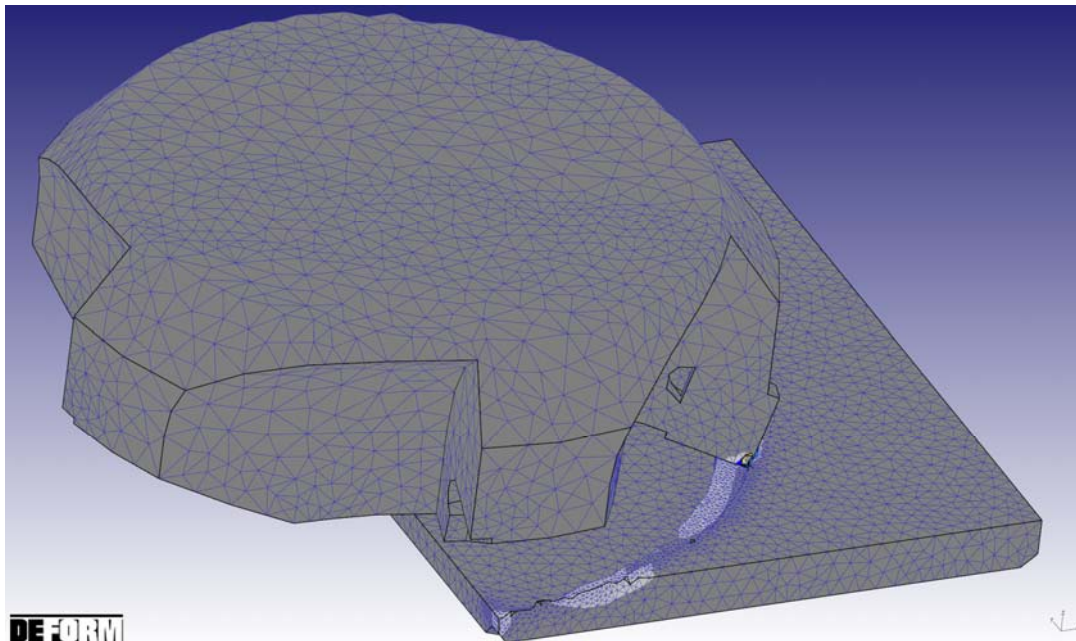
Slika 6.9 Oblik strugotine dobijene posredstvom simulacije, step 4942



Slika. 6.10. Oblik strugotine dobijene eksperimentalnim putem

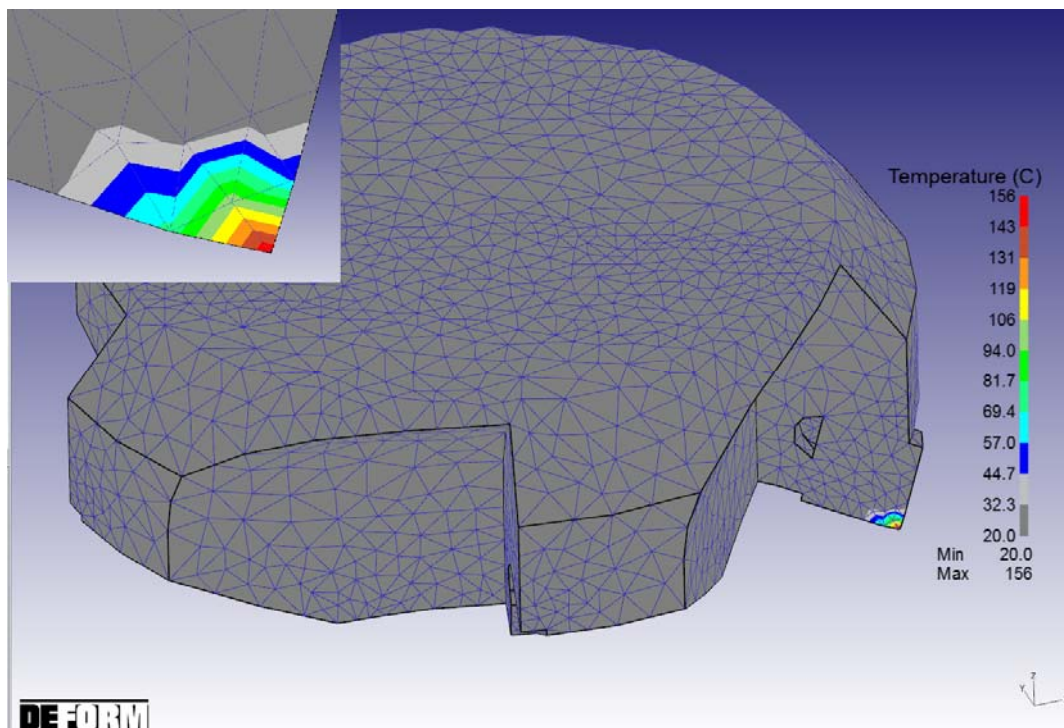
Naredna slika 6.11. prikazuje položaj alata pri kom je došlo do uspostavljanja konstantne temperature. Shodno tome izvršeno je poređenje sa eksperimentalno izmerenom temperaturom u već opisanom položaju merenja, od 0,5 mm od grudne površine alata i 1,5 mm od leđne površine alata.

6.0. Simulacija procesa obrade čeonog glodanja pomoću metode konačnih elemenata



Slika 6.11. Položaj alata pri procesu obrade gde je ostvarena konstantna temperatura, step 5825

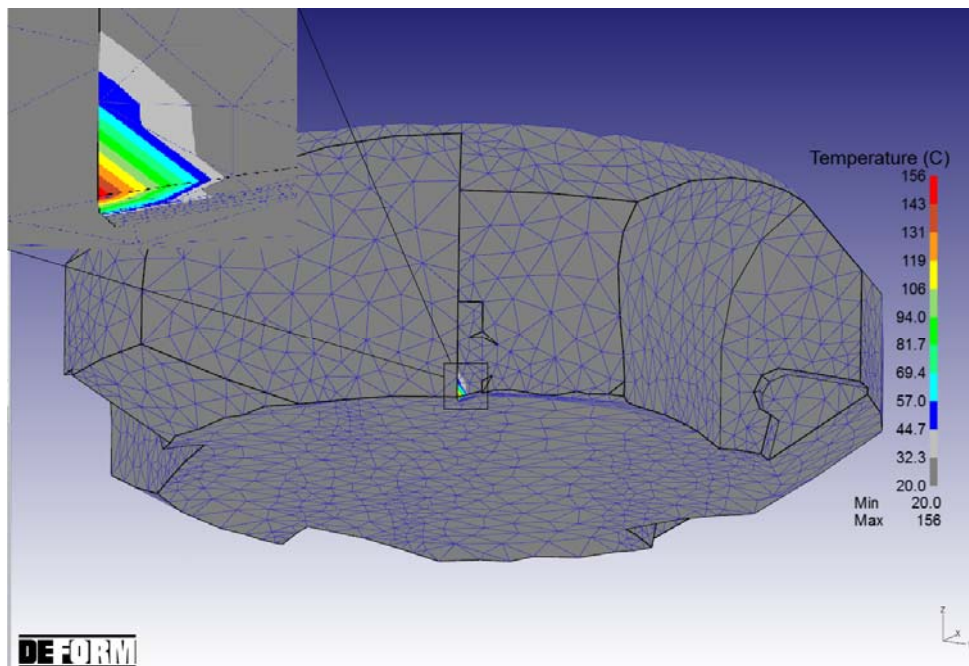
Temperatura pri eksperimentalnom merenju pri režimu obrade istovetnom kao i u simulaciji, iznosila je 94°C za KL i 98°C za SSM leguru. Ako se pogleda dobijeno temperaturno polje na alatu, slika 6.12., vidi se da u mernom polju (prelaz između tamno i svetlo zelene boje) simulacija prikazuje oko 95°C. Pločica na simulaciji je dimenzija kao i pri eksperimentu, veličine 12x12 mm.



Slika 6.12. Položaj alata sa detaljem temperature na vrhu rezne ivice, step 5825

6.0. Simulacija procesa obrade čeonog glodanja pomoću metode konačnih elemenata

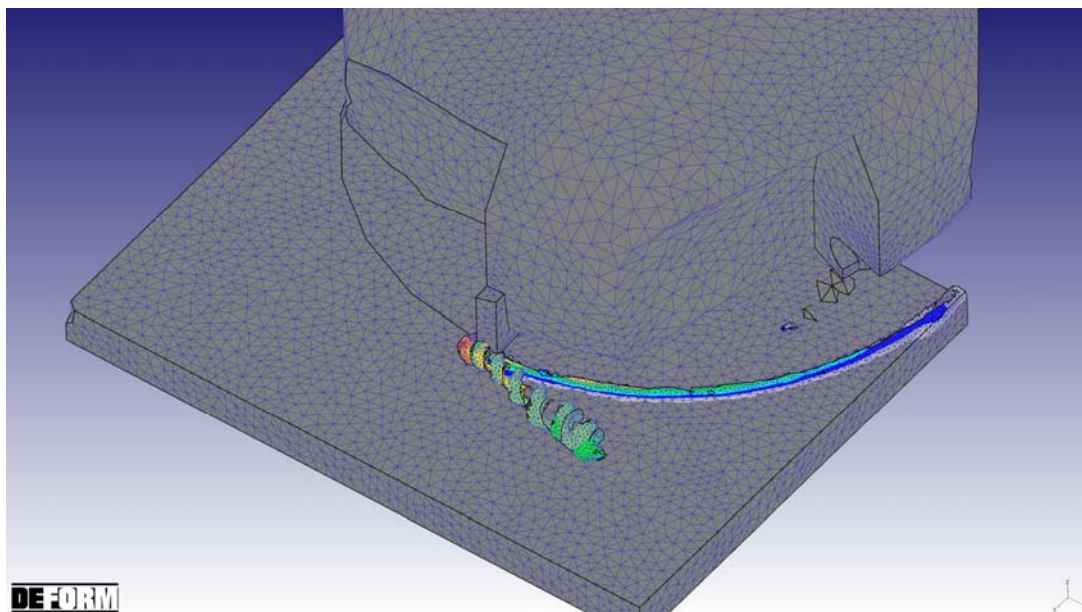
Prostiranje temperature pri simulaciji procesa obrade je u sva tri ortogonalna pravca, što se najbolje vidi sa slike 6.13.



Slika 6.13. Trodimenzionalno prostiranje toplote pri procesu simulacije modela

6.2.2. Simulacija 2

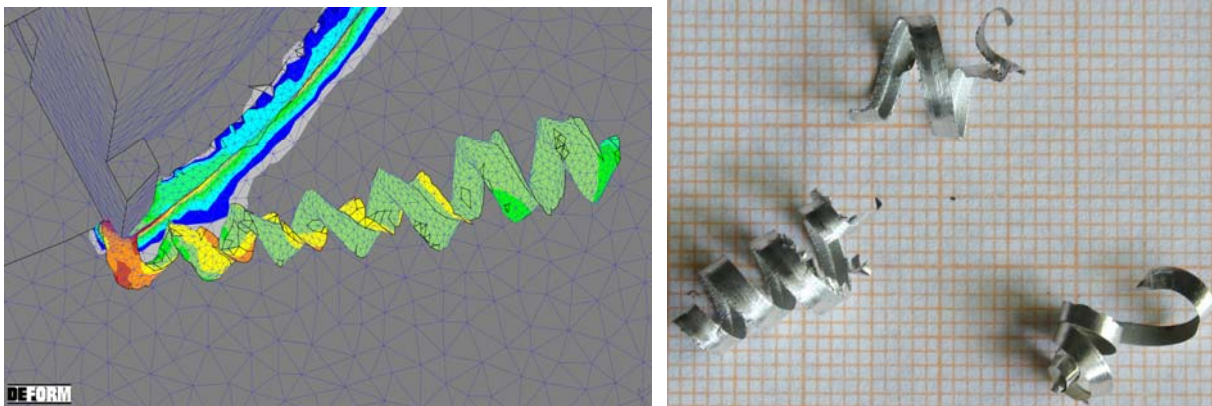
Druga simulacija je izvršena na istom modelu s tim da je promenjen režim obrade. Podešena je brzina glavnog kretanja glodala od 900 o/min, translatorno kretanje obratka je 2,67 mm/s ($s=160$ mm/min), dok je dubina glodanja iznosila 1,72 mm, odnosno izabran je režim 8 iz plana eksperimenta prikazanog u tabeli 4.30.



Slika 6.14. Oblik strugotine dobijene posredstvom simulacije 2

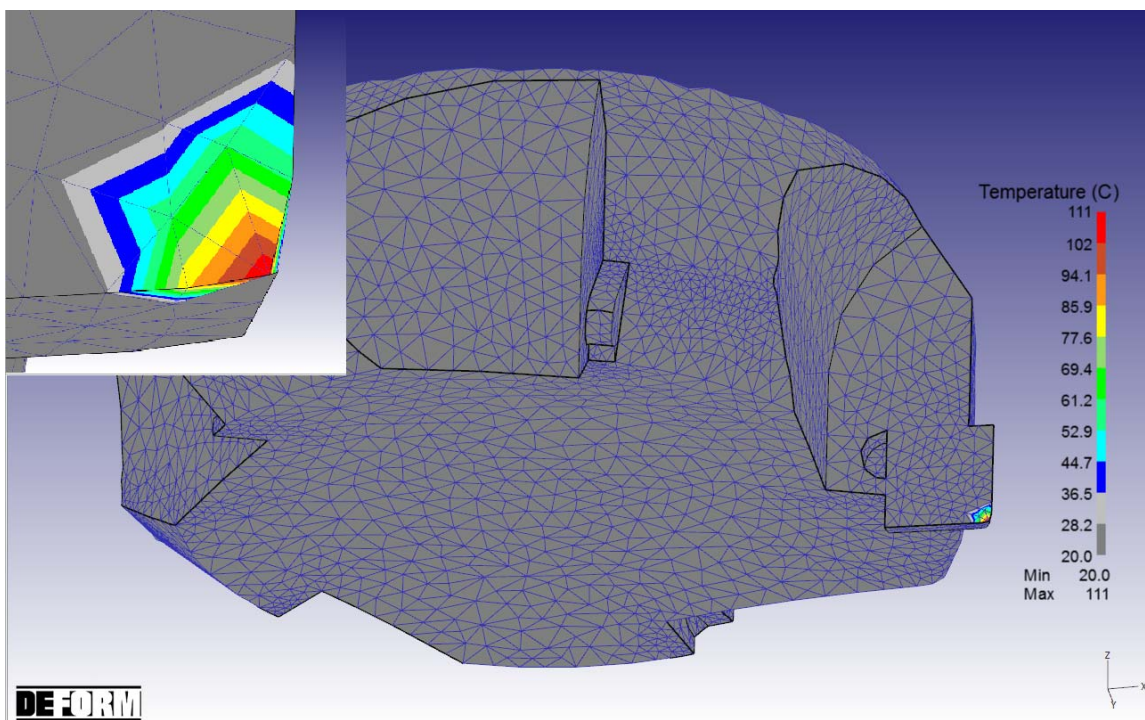
6.0. Simulacija procesa obrade čeonog glodanja pomoću metode konačnih elemenata

Na slici 6.14. prikazan je položaj alata gde se formirala strugotina, step 2213. Ovaj prikaz služi da pokaže stvarni oblik strugotine nastao simulacijom i eksperimentalno pri istim režimima obrade, slika 6.15. Neposredno posle ovog stepa u simulaciji je odlomljena strugotina. Ako se uporedi oblik strugotine eksperimentalno dobijen i posredstvom simulacije, vidi se da su približno identični.



Slika 6.15. Oblik strugotine nastao simulacijom i eksperimentalno pri istim režimima obrade

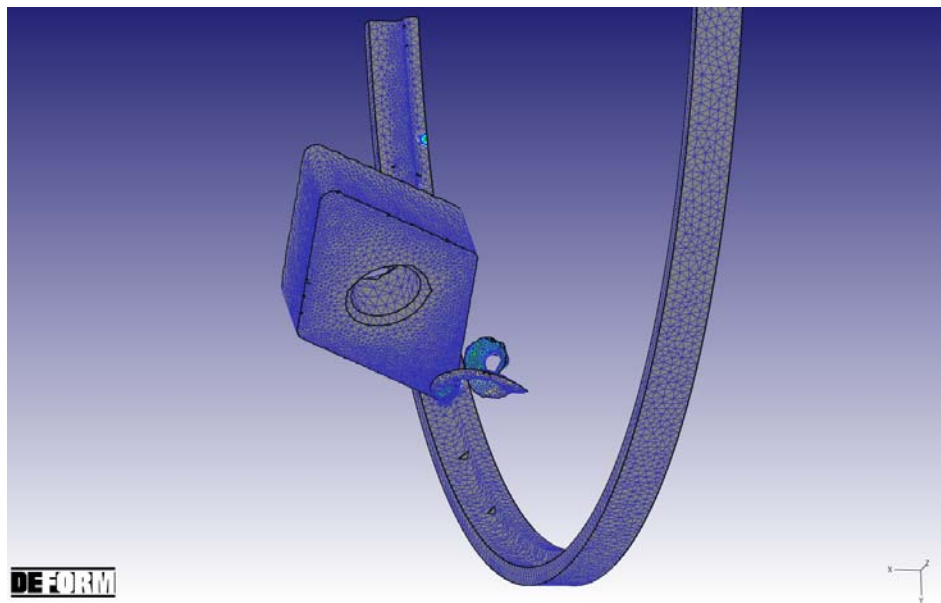
Temperatura pri eksperimentalnom merenju pri režimu obrade istovetnom kao i u simulaciji, iznosila je 77°C za KL i 87°C za SSM leguru. Ako se pogleda temperatura na alatu, kod simulacije, slika 6.16., vidi se da polje obojeno žutom bojom upravo odgovara izmerenoj vrednosti, simulacija prikazuje interval između 77°C i 86°C. Pločica na simulaciji je dimenzija kao i pri eksperimentu, veličine 12x12 mm.



Slika 6.16. Položaj alata sa detaljem temperature na vrhu rezne ivice, step 2213

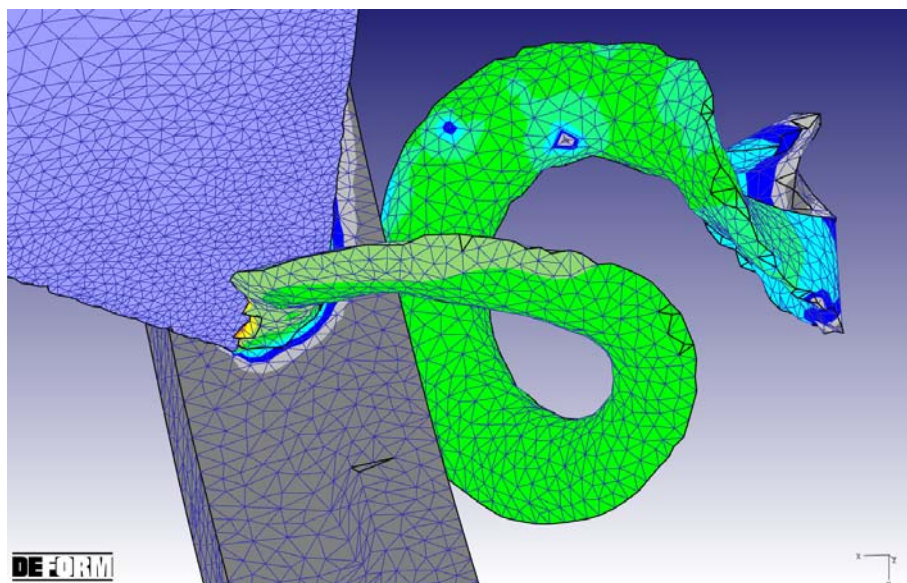
6.2.3. Simulacija 3

U narednoj simulaciji izvršeno je modeliranje procesa uz akcenat na detaljan prikaz zone rezanja gde se odvija proces odvajanja materijala, slika 6.17. Simulacija je izvršena sa režimom obrade koji odgovara režimu br. 15. iz plana eksperimenta prikazanog u tabeli 4.30. Podešena je brzina glavnog kretanja glodala od 710 o/min, translatorno kretanje obratka je 1,67 mm/s ($s=100$ mm/min), dok je dubina glodanja iznosila 2,6 mm.



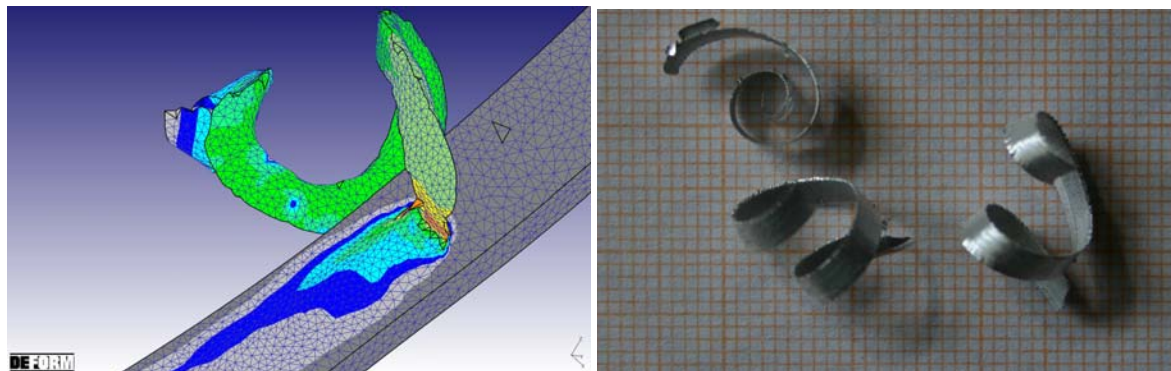
Slika 6.17. Položaj alata u zoni rezanja, odnosno deformacija obratka, 3400 step

Na slici 6.18. prikazan je položaj alata gde se oformila strugotina, step 5054. Ovaj prikaz služi da pokaže stvarni oblik strugotine nastao simulacijom i eksperimentalno pri istim režimima obrade, slika 6.19. Ako se uporedi oblik strugotine eksperimentalno dobijen i posredstvom simulacije, vidi se da je približno identičan.



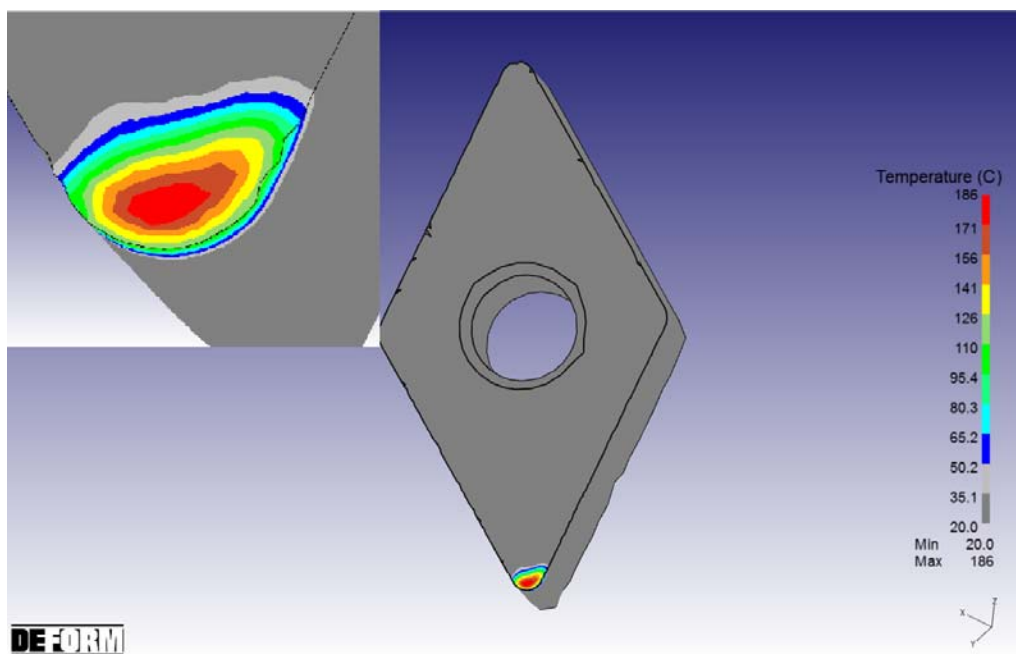
Slika 6.18. Oblik strugotine dobijene posredstvom simulacije 3

6.0. Simulacija procesa obrade čeonog glodanja pomoću metode konačnih elemenata



Slika 6.19. Oblik strugotine nastao simulacijom i eksperimentalno pri istim režimima obrade

Temperatura pri eksperimentalnom merenju pri režimu obrade istovetnom kao i u simulaciji, iznosila je 77°C za KL i oko 92°C za SSM leguru. Ako se pogleda temperatura na alatu, kod simulacije, slika 6.20., vidi se da polje obojeno svetlo zelenom bojom približno odgovara izmerenoj vrednosti, simulacija prikazuje temperaturu oko 100°C. Pločica na simulaciji je izabrana iz palete alata, tj. nije modelirana. Shodno tome, moguće je da se greška, odnosno odstupanje od izmerene vrednosti temperature, upravo javlja iz tog razloga.



Slika 6.20. Položaj alata sa detaljem temperature na vrhu rezne ivice, step 5054.

Posle prikaza ovih simulacija može se zaključiti da sa stanovišta temperature, računarski model daje zadovoljavajuće rezultate koji se u pojedinim tačkama skoro poklapaju sa eksperimentalnim. Nedovoljni računarski resursi za sada predstavljaju najveću poteškoću u što češćoj primeni metode konačnih elemenata u proizvodnim procesima. Mogućnost primene sistema koji su uprošćeni u vidu simulacije sa 2D modeliranjem, a koje je trenutno više zastupljeno u istraživanjima, donose delimično tačne rezultate, dok je kod 3D modeliranja taj faktor uprošćenja odgovarajućeg modela sveden na minimum. Shodno tome rezultati dobijeni uz pomoć 3D modeliranja se mogu prihvatiti bez nekih velikih ograničenja.

7.0. ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

7.1. Analiza obradivosti legure aluminijuma 7075

Analiza obradivosti materijala za konvencionalno livene (KL) legure i legure livene novom SSM metodom prikazana je kroz sledeće funkcije obradivosti: glavnu silu rezanja F_g , silu prodiranja F_p , temperaturu u zoni rezanja θ , kao i za dve mere hrapavosti obrađene površine, R_a - aritmetičku hrapavost i R_{max} - maksimalnu visinu neravnina, kao i za faktor sabijanja strugotine λ .

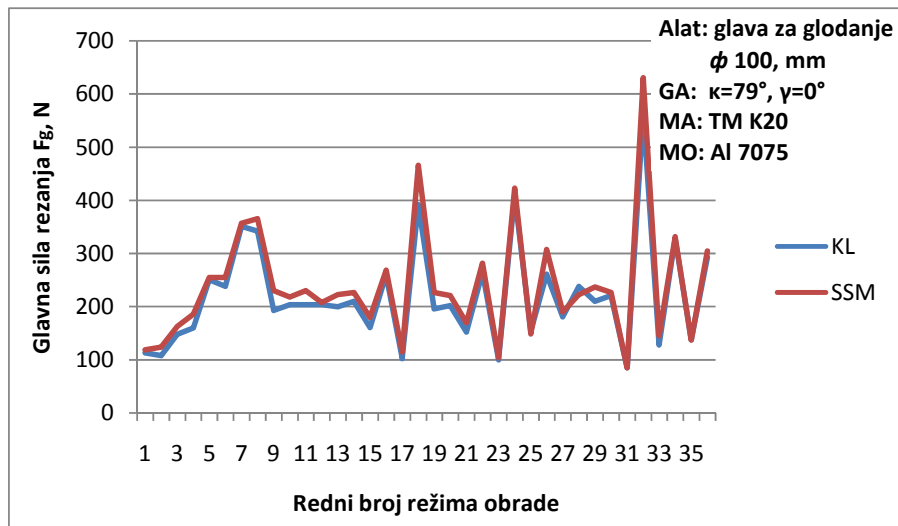
Uporedni prikaz je dat za sve eksperimente koji su izvedeni u ovom radu, po planu eksperimenta identičnom za oba tipa legura. Plan svih eksperimentalnih tačaka je prikazan u novo formiranoj tabeli 7.1., koja sadrži sve eksperimente koji su izvedeni pri izradi ovog rada. Treba napomenuti da je u tabeli kao treći faktor koji se varira pri čeonom glodanju dubina rezanja (a), odnosno širina glodanja (b) pri obimnom glodanju. Ostala dva parametra brzina rezanja (v) i pomak po zubu (s_1) su isti za obe vrste glodanja.

Tabela 7.1. Plan svih eksperimentalnih tačaka sprovedenih istraživanja

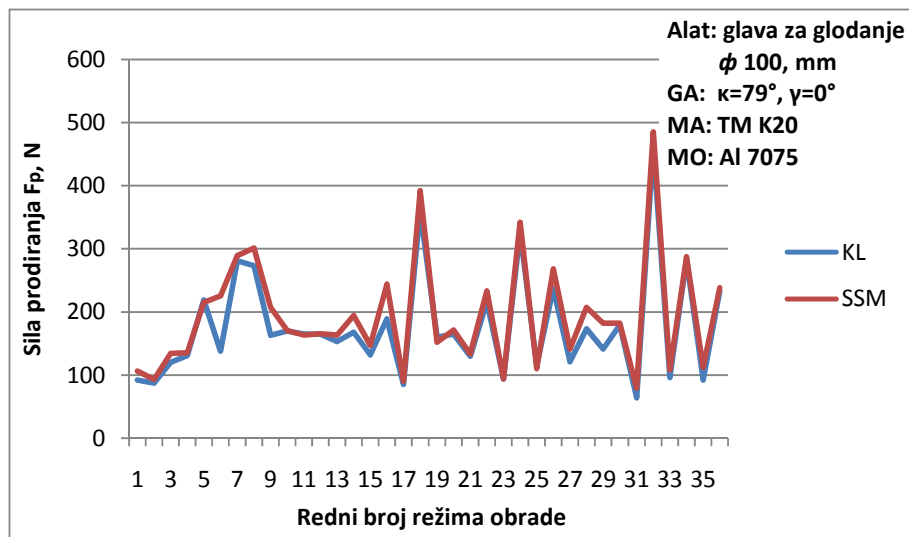
| Redni broj | Faktor | | |
|------------|--------|--------------|-----------|
| | v, m/s | s_1 , mm/z | a (b), mm |
| 1 | 2.93 | 0.112 | 0.75 |
| 2 | 4.71 | 0.112 | 0.75 |
| 3 | 2.93 | 0.177 | 0.75 |
| 4 | 4.71 | 0.177 | 0.75 |
| 5 | 2.93 | 0.112 | 1.72 |
| 6 | 4.71 | 0.112 | 1.72 |
| 7 | 2.93 | 0.177 | 1.72 |
| 8 | 4.71 | 0.177 | 1.72 |
| 9 | 3.71 | 0.141 | 1.14 |
| 10 | 3.71 | 0.141 | 1.14 |
| 11 | 3.71 | 0.141 | 1.14 |
| 12 | 3.71 | 0.141 | 1.14 |
| 13 | 2.35 | 0.141 | 1.14 |
| 14 | 5.86 | 0.141 | 1.14 |
| 15 | 3.71 | 0.089 | 1.14 |
| 16 | 3.71 | 0.223 | 1.14 |
| 17 | 3.71 | 0.141 | 0.5 |
| 18 | 3.71 | 0.141 | 2.6 |
| 19 | 2.35 | 0.141 | 1.14 |
| 20 | 5.86 | 0.141 | 1.14 |
| 21 | 3.71 | 0.089 | 1.14 |
| 22 | 3.71 | 0.223 | 1.14 |
| 23 | 3.71 | 0.141 | 0.5 |
| 24 | 3.71 | 0.141 | 2.6 |
| 25 | 3.71 | 0.141 | 0.75 |
| 26 | 3.71 | 0.141 | 1.72 |
| 27 | 3.71 | 0.112 | 1.14 |
| 28 | 3.71 | 0.177 | 1.14 |
| 29 | 2.93 | 0.141 | 1.14 |
| 30 | 4.71 | 0.141 | 1.14 |
| 31 | 2.35 | 0.089 | 0.5 |
| 32 | 2.35 | 0.223 | 2.6 |
| 33 | 3.71 | 0.223 | 0.5 |
| 34 | 5.86 | 0.089 | 2.6 |
| 35 | 5.86 | 0.141 | 0.5 |
| 36 | 5.86 | 0.223 | 1.14 |

7.0. Analiza rezultata istraživanja

Na slici 7.1. je dat uporedni prikaz eksperimentalnih vrednosti glavne sile rezanja F_g , pri obradi oba tipa legure, za svih 36 merenja. Na slici 7.2., takođe je prikazan uporedni odnos sile prodiranja F_p za legure aluminijuma KL i livene SSM postupkom.



Slika 7.1. Odnos glavne sile rezanja F_g za legure aluminijuma KL i livene SSM procesom

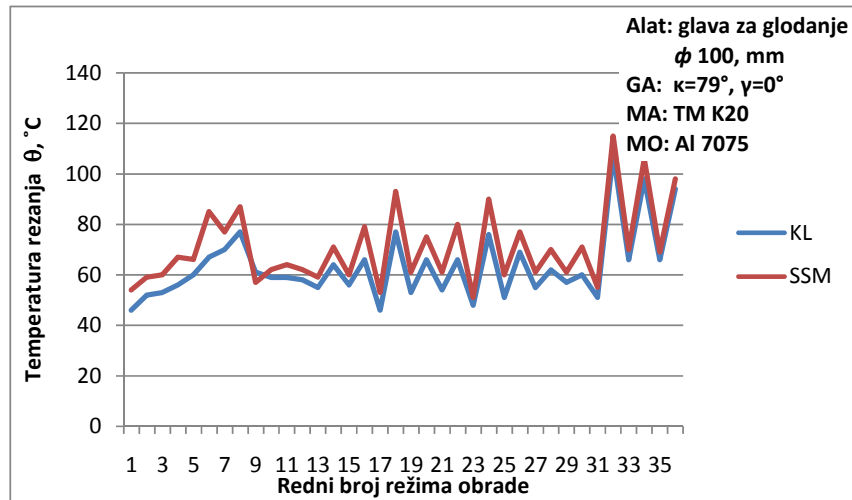


Slika 7.2. Odnos sile prodiranja F_p za legure aluminijuma KL i livene SSM procesom

Na osnovu analize rezultata primećuje se da su glavne sile rezanja F_g i sile prodiranja F_p , za mali procenat veće kod legure dobijene SSM metodom livenja. To se obrazlaže činjenicom da SSM uzorci imaju veću količinu eutektikuma, koji je tvrdi od α čvrstog rastvora osnove, pa stoga i pravi veće otpore pri obradi rezanjem. Ovi otpori svakako nisu toliko veliki da bi mogli uticati na habanje rezne pločice, odnosno postojanost alata. Shodno tome, može se konstatovati da sa aspekta sile rezanja, tip livenja ne utiče na obradivosti legure aluminijuma 7075.

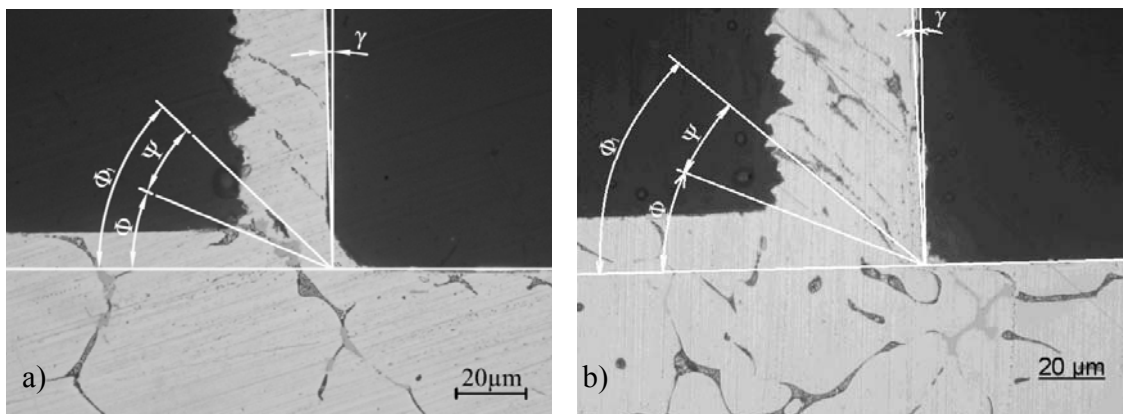
Na slici 7.3 dat je prikaz odnosa temperature u zoni rezanja θ , pri obradi legure aluminijuma KL i livene SSM metodom.

7.0. Analiza rezultata istraživanja



Slika 7.3. Odnos temperature u zoni rezanja θ za legure aluminijuma KL i livene SSM procesom

Na osnovu analize rezultata primećuje se da je temperatura u zoni rezanja θ veća za 5 do 10°C kod SSM uzoraka. To se takođe može obrazložiti činjenicom da uzorci dobijeni SSM načinom livenja sadrže veću količinu eutektikuma, koji je tvrdi od α čvrstog rastvora, pa stoga pravi veće otpore pri obradi rezanjem, a samim tim se javlja i veća temperatura u zoni kontakta. Ova pojava se može obrazložiti i činjenicom da je faktor sabijanja strugotine kod SSM uzoraka veći, odnosno debljina strugotine u samom korenu je većeg preseka iz razloga što su zrna sitnija i bolje se slažu u procesu formiranja strugotine, slika 7.4. Veći presek generiše toplotu u zoni rezanja, odnosno vrši sporije odvođenje toplote iz obratka, a to se posle manifestuje i na odvođenje toplote iz alata. Na osnovu, napred iznetih zapažanja, sledi da sa aspekta temperature u zoni kontakta, način livenja utiče na obradivost materijala obratka. Na slici 7.4., dat je prikaz korena strugotine kod oba načina livenja. Režimi obrade pri kojima je analizirana strugotina su bili isti za KL i SSM leguru aluminijuma i dati su u tabeli 7.1 pod rednim brojem 1.

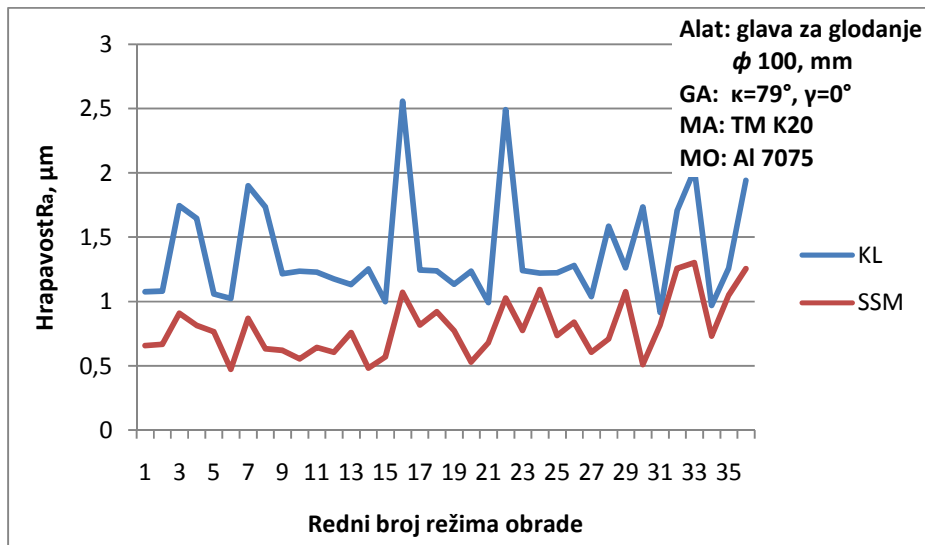


Slika 7.4. Prikaz korena strugotine pri istim režimima obrade kod uzoraka a) KL legura i kod uzoraka iz b) SSM procesa livenja

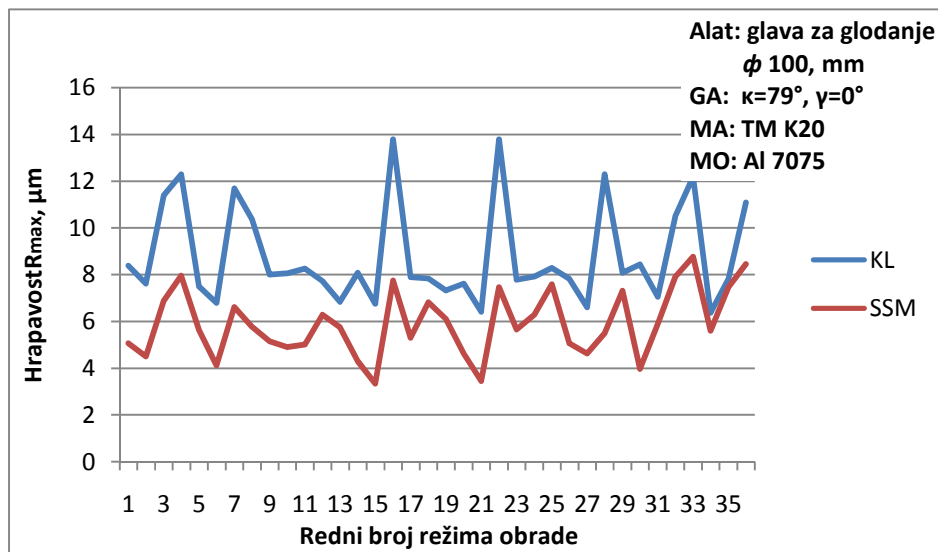
Na slici 7.5 dat je odnos eksperimentalnih vrednosti srednje aritmetičke hrapavosti obrađene površine R_a za uzorke konvencionalno livene legure aluminijuma i novom SSM

7.0. Analiza rezultata istraživanja

metodom livenja. Na slici slici 7.6., takođe je prikazan odnos maksimalne visine neravnina R_{max} za legure aluminijuma KL i livene SSM metodom.



Slika 7.5. Odnos srednje aritmetičke hrapavosti obrađene površine R_a za legure aluminijuma KL i livene SSM procesom



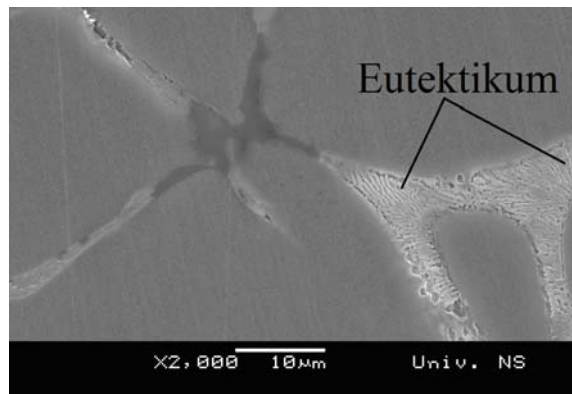
Slika 7.6. Odnos maksimalne visine neravnina R_{max} za legure aluminijuma KL i livene SSM procesom

Na osnovu analize rezultata primećuje se da su srednja aritmetička hrapavost obrađene površine R_a i maksimalna visina neravnina R_{max} znatno niži kod uzoraka livenih SSM postupkom. To se može obrazložiti činjenicom da uzorci dobijeni SSM načinom livenja imaju veću količinu eutektikuma. Shodno tome, eutektikum, slika 7.7., kao smeša α čvrstog rastvora sa intermetalnim jedinjenjima, povoljno utiče na hrapavost obrađene površine.

U procesu rezanja, kada rezna ivica alata vrši razdvajanje materijala i kada prolazi kroz eutektikum, odnosno smešu faza α čvrstog rastvora sa intermetalnim jedinjenjima, dobija se

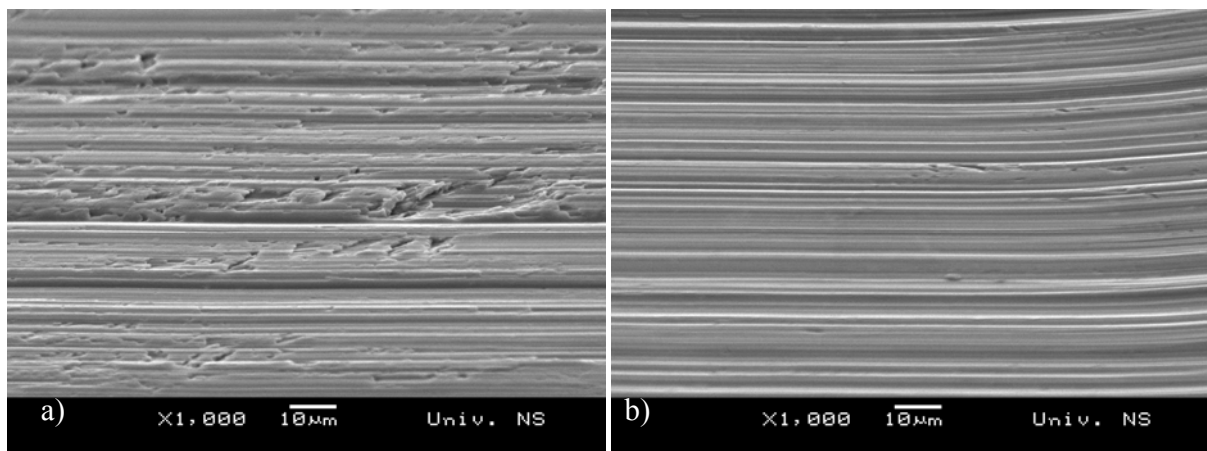
7.0. Analiza rezultata istraživanja

veoma povoljna hrapavost. To je rezultat neometanog deljenja materijala, gde jedan deo eutektikuma tj. intermetalnih jedinjenja ostaje na obrađenoj površini, dok drugi deo odlazi sa strugotinom. Odnosno, treba reći da je povoljnija hrapavost obrađene površine ukoliko alat ima duži put prelaska kroz površinu eutektikuma. Pošto uzorci dobijeni SSM načinom livenja imaju veći procenat eutektikuma u odnosu na uzorke dobijene kao KL legure, logično je da količina eutektikuma pozitivno utiče na proces obrade rezanjem, gledano sa strane kvaliteta obrađene površine.



Slika 7.7. Lamelarni eutektikum kao smeša α čvrstog rastvora sa intermetalnim jedinjenjima

Druga, ne tako zanemarljiva činjenica, zbog koje nastaju manje neravnine kod uzoraka dobijenih SSM načinom livenja je krupnoća zrna. Pošto uzorci dobijeni kao KL legure imaju zrna većih dimenzija, u odnosu na uzorke dobijene SSM metodom livenja, dolazi do sledećih pojava. Kada oštrica alata prelazi preko sredine zrna, izvršava se njegovo presecanje i dobija se obrađena površina povoljnog kvaliteta. Problem nastaje kada oštica alata pređe preko zrna u zoni bliskoj eutektikumu, odnosno granici zrna, gde se veći deo zrna po geometriji rezanja nalazi iznad pravca po kojoj se kreće alat, tada dolazi do toga da alat ne vrši deobu (rezanje) zrna već se zrno zajedno sa strugotinom odvajaju i ostavlja jamicu u vidu kratera za sobom. Ukoliko su veća zrna i dolazi do ove opisane pojave, biće i veće jamice, odnosno krateri na obrađenoj površini. Primer nastanka ovih pojava je dat na slici 7.8., gde se vidi da uzorci dobijeni SSM načinom livenja imaju znatno manji broj neravnina nastalih usled ovog fenomena, koji se javlja pri obradi rezanjem.

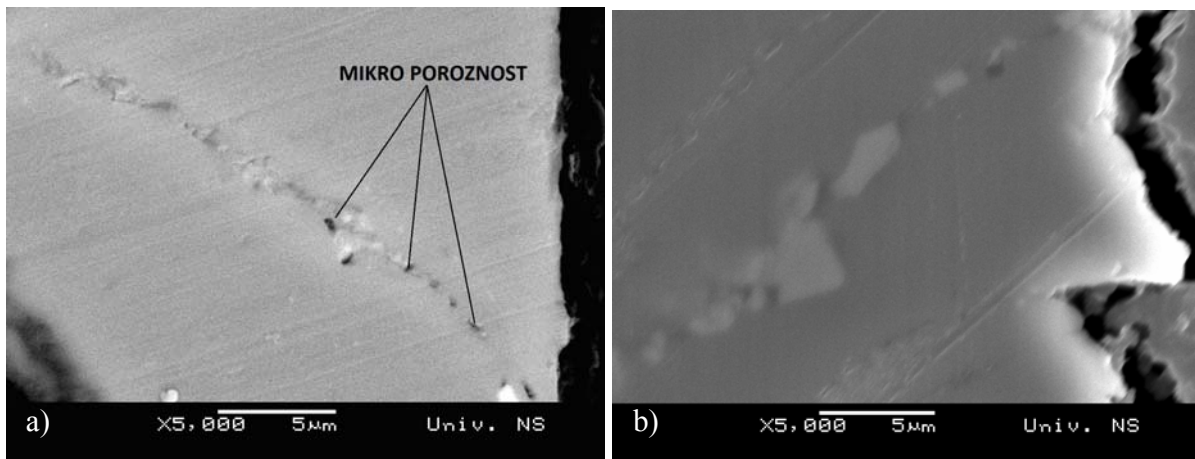


Slika 7.8. Izgled obrađene površine uzoraka a) KL legura i b) SSM procesa livenja

7.0. Analiza rezultata istraživanja

Na osnovu prethodne diskusije, može se zaključiti da povoljna hrapavost nastaje kao rezultat sitnijih zrna α čvrstog rastvora i ravnomernijeg rasporeda eutektikuma i intermetalnih faza po granicama zrna.

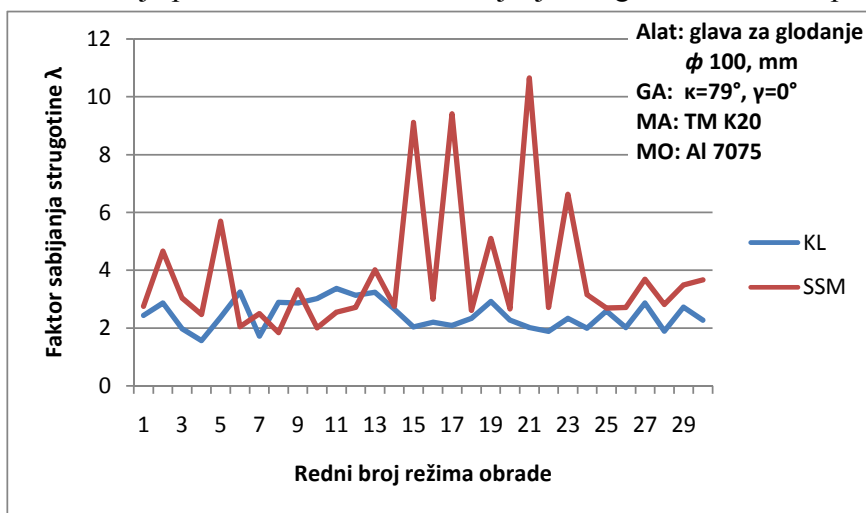
Pojava koju ne bi trebalo zanemariti, a koja svakako utiče na proces stvaranja neravnina, je mikroporoznost materijala. Na slici 7.9., dat je prikaz poroznosti u zoni granice zrna kod oba tipa livenja, gde se vidi da se kod uzoraka KL legura javljaju neispunjene površine u materijalu, koje doprinose da obrađena površina ima nepovoljniji kvalitet obrađene površine. Nasuprot tome, kod uzoraka dobijenih novim SSM načinom livenja, ne vidi se pojava mikroporoznosti, već dolazi do cepanja eutektoidne mase u pravcu linije tekture zrna.



7.9. Poroznost uzoraka a) KL legure odnosno neporoznost uzoraka iz b) SSM procesa livenja

Na osnovu napred iznetih činjenica, dolazi se do zaključka da hrapavost obrađene površine i te kako zavisi od načina livenja legure aluminijuma.

Na slici 7.10. dat je prikaz odnosa faktora sabijanja strugotine λ za oba tipa livenja.

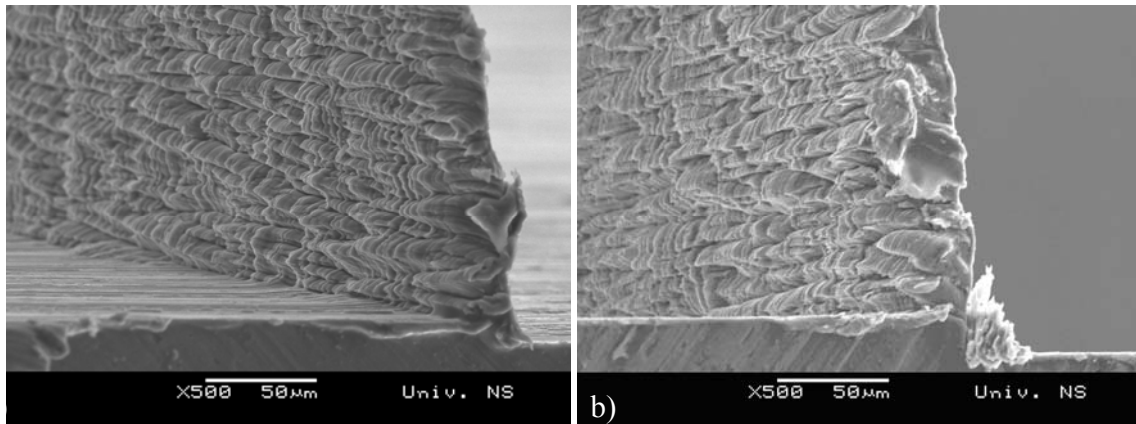


Slika 7.10. Odnos faktora sabijanja strugotine λ za legure aluminijuma KL i livene SSM postupkom

Delimičan odgovor, na analizu faktora sabijanja strugotine, je dat kroz objašnjenje slike 7.4. Obrazovana strugotina, kod uzoraka dobijenih SSM načinom livenja, daje veću površinu

7.0. Analiza rezultata istraživanja

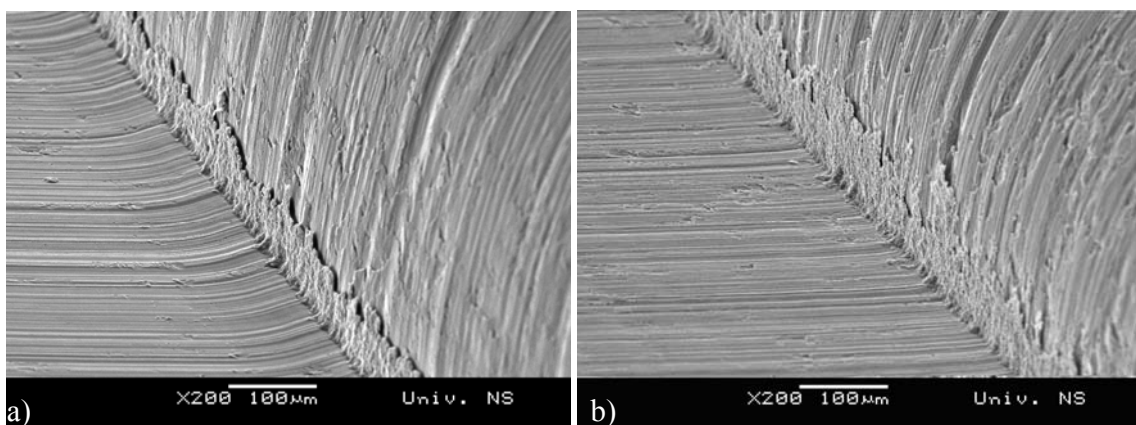
preseka u samom korenu. To se dešava iz razloga što, sitnija zrna uz veću količinu eutektikuma, mogu da vrše bolje slaganje. Slično konstrukciji piramide, gde jedno zrno u istom redu dolazi do sledećeg i tako dalje, gradeći stabilan oslonac za naredni red. Kod klasičnog livenja gde se dobijaju krupnija zrna nisu retki slučajevi da dva zrna mogu u istom redu da se nađu pri procesu formiranja strugotine. Upravo ova pojava doprinosi da se javlja deblja strugotine kod uzoraka dobijenih SSM načinom livenja, a samim tim je i veći faktor sabijanja strugotine. Na slici 7.11. vidi se slojevitost strugotine kod uzoraka dobijenih iz KL legure i uzoraka dobijenih SSM procesom livenja. Vidi se da SSM uzorci imaju sitnija zrna po čijim granicama teče strugotina.



Slika 7.11. Slojevitost strugotine uzoraka a) KL legure odnosno b) SSM procesa livenja

Prethodna analiza, govori u prilog tome, da na faktor sabijanja strugotine (λ) utiče način livenja legure aluminijuma.

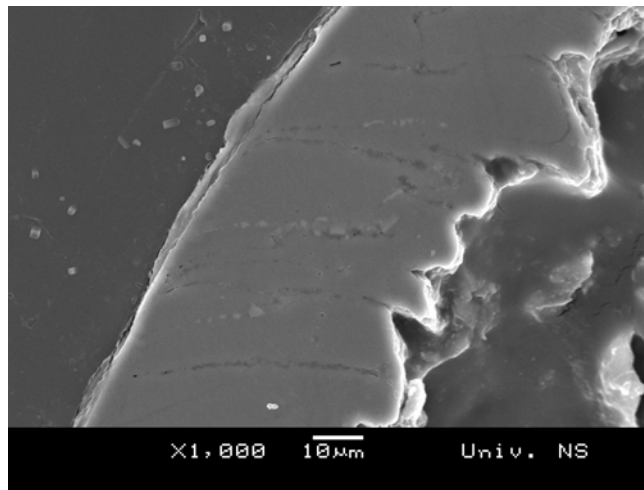
Pored ovih uporednih karakteristika koje su analizirane, izvršena je analiza i u samom korenu strugotine gde nastaje naslaga. Sa slike 7.12. vidi se da uzorci dobijeni iz KL legure i sa novim SSM procesom stvaraju naslage na vrhu rezne ivice. Primećuje se da je kod uzoraka iz KL legure ta naslaga veoma uočljiva i većih dimenzija, dok se kod uzoraka dobijenih SSM procesom naslaga praktično spojila i odlazi zajedno sa strugotinom. To se može tumačiti činjenicom da uzorci iz SSM procesa imaju sitniju i ujednačeniju mikrostrukturu koja povoljnije utiče na sprečavanje stvaranja naslage.



7.12. Pojava naslaga u korenu strugotine kod uzoraka a) KL legure odnosno kod uzoraka iz b) SSM procesa livenja

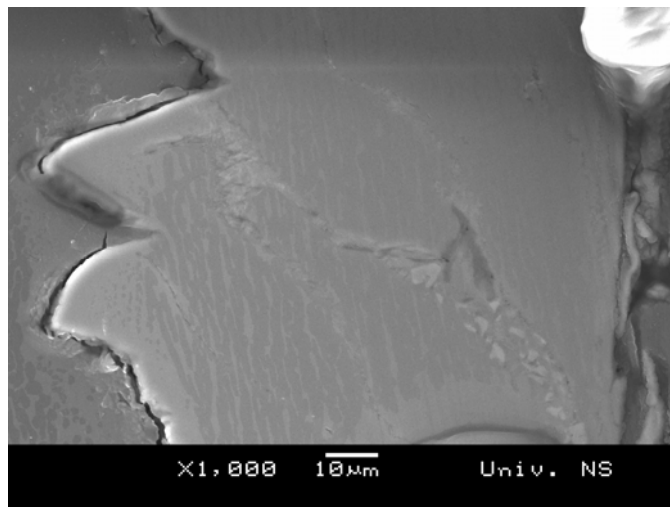
7.0. Analiza rezultata istraživanja

Još jedna pojava koja se primećuje pri analizi nastanka korena strugotine i koja važi za oba načina livenja legure aluminijuma, vidi se na slici 7.13. Analizom smicanja materijala u zoni kontakta i ugla teksture koji grade granice zrna, primećuje se da oblik strugotine sa prednje strane prati grudnu površinu alata i on daje oblu, odnosno sferničnu glatku površinu. Sa druge strane, nasuprot prednjoj strani strugotine, vidi se da strugotina ima testerast oblik. Istraživači koji su se bavili analizom strugotine su tumačili da se ovakav oblik strugotine javlja usled vibracija pri procesu rezanja. Sa slike se vidi da sam testerast oblik isključivo zavisi od krupnoće zrna i granica zrna po kojima ona klize. Kada su zrna većih dimenzija i vrh neravnine na strugotini će biti veći, odnosno kada su zrna manja i vrhovi na strugotini sa leđne strane će biti manji.



7.13. Smicanje i testerast oblik strugotine usled klizanja po granici zrna

EDS analizom uzoraka legure aluminijuma potvrđeno je da se po granici zrna nalaze intermetalne faze, slika 3.47. Najveća faza po kojoj se odvija smicanje zrna je faza koju gradi eutektikum. Sa slike 7.14. vidi se da se eutektikum drobi i razvlači u pravcu smicanja zrna. Takođe se kao i na prethodnoj slici vidi nastanak testerastog oblika strugotine usled klizanja po granici zrna.



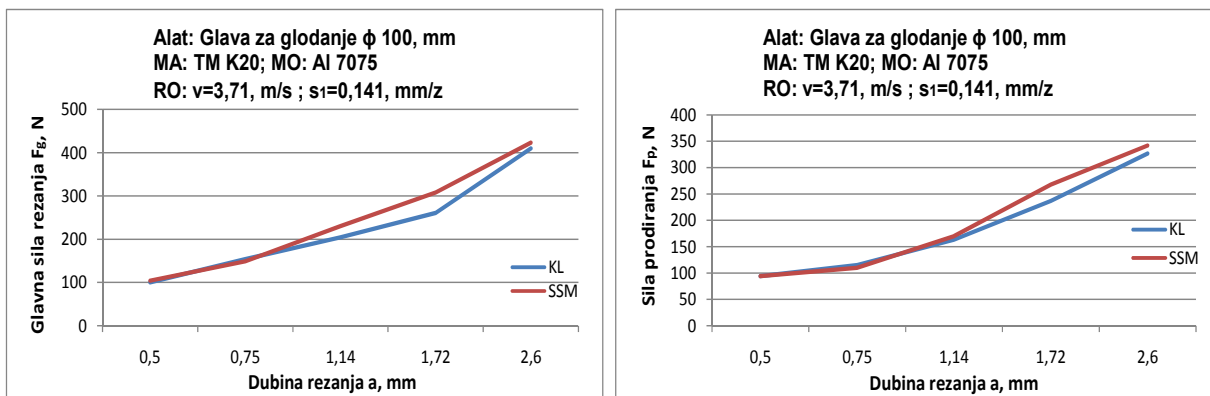
7.14. Raspad eutektikuma u pravcu smicanja zrna

7.2. Analiza zavisnosti eksperimentalnih veličina kao mera obradivosti

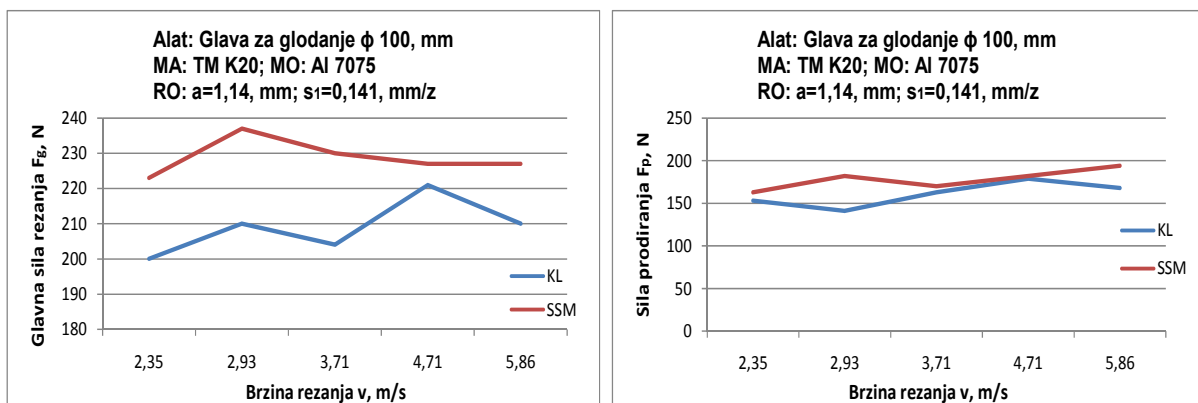
Analiza zavisnosti izlaznih karakteristika procesa obrade glodanjem izvršena je za oba načina livenja legure aluminijuma, tj. konvencionalnim livenjem (KL) i novim SSM postupkom livenja. Obradivosti je prikazana kroz sledeće parametre: glavnu silu rezanja F_g , silu prodiranja F_p , temperaturu u zoni rezanja Q , kao i za dve mere hrapavosti obrađene površine, R_a - aritmetičku hrapavost i R_{max} - maksimalnu visinu neravnina, kao i za faktor sabijanja strugotine λ . U nastavku su prikazani dijagrami koji su koncipirani tako da daju vrednost izmerenih veličina obradivosti sa jednim promenljivim faktorom variranim na 5 nivoa. Ostala dva faktora su konstantna.

Sprovedena analiza zavisnosti pojedinih parametara donosi i potvrdu o tome da li je prethodna optimizacija parametara, pomoću Taguči metode i ANOVA analize, izvršena na odgovarajući način.

Na narednom dijagramu prikazana promena glavne sile rezanja F_g i sile prodiranja F_p u funkciji dubine rezanja. Ostala dva parametra, brzina rezanja i pomak po zubu, imaju konstantnu vrednosti, slika 7.15. Slika 7.16. prikazuje takođe zavisnost sila rezanja ovog puta u funkciji brzine rezanja, dok su dubina rezanja i pomak po zubu konstantne vrednosti. Na kraju je dat i dijagram koji pokazuje promenu sila u odnosu na vrednost pomaka po zubu. Ostala dva parametra su konstantna, slika 7.17.

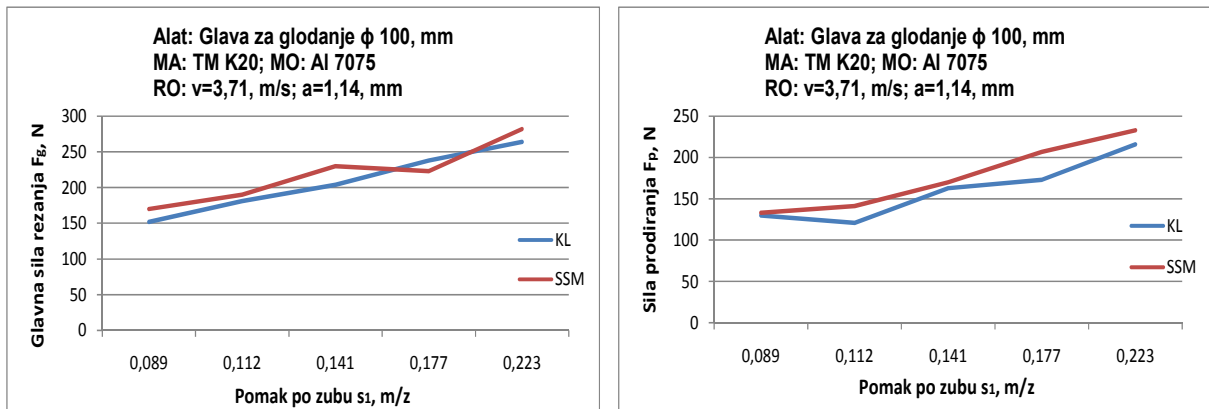


Slika 7.15. Promena sila rezanja u zavisnosti od dubine rezanja ($v=\text{const.}$; $s_1=\text{const.}$)



Slika 7.16. Promena sila rezanja u zavisnosti od brzine rezanja ($a=\text{const.}$; $s_1=\text{const.}$)

7.0. Analiza rezultata istraživanja

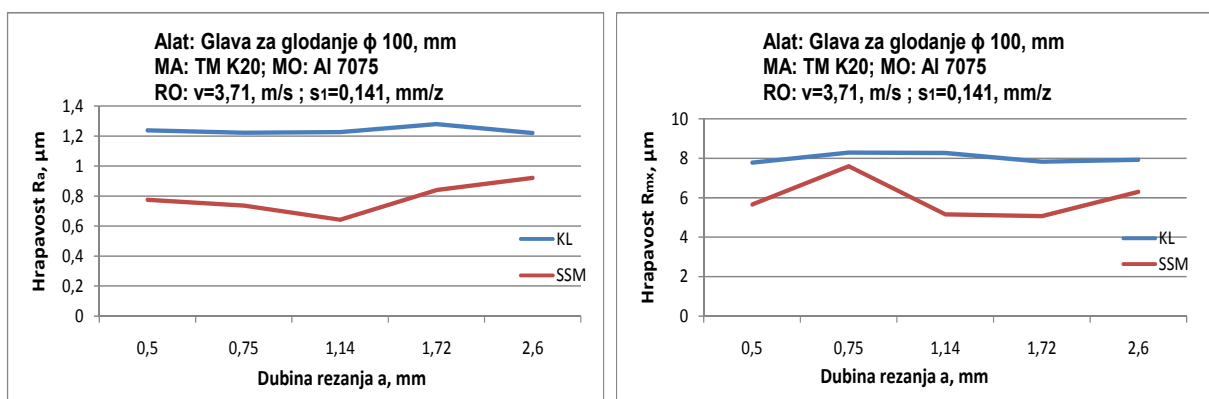


Slika 7.17. Promena sila rezanja u zavisnosti od pomaka po zubu ($v=\text{const.}$; $a=\text{const.}$)

Prethodni dijagrami potvrđuju rezultate dobijene pomoću Tagučii metode i ANOVA analize, a to su: najveći uticaj na vrednost sila rezanja ima dubina rezanja, značajno manji je uticaj pomaka po zubu, dok brzina rezanja skoro nema nikakav uticaj. Shodno dijagramima primetno je da pri povećanju vrednosti dubine rezanja, odnosno pomaka po zubu i sile rezanja imaju veće vrednosti.

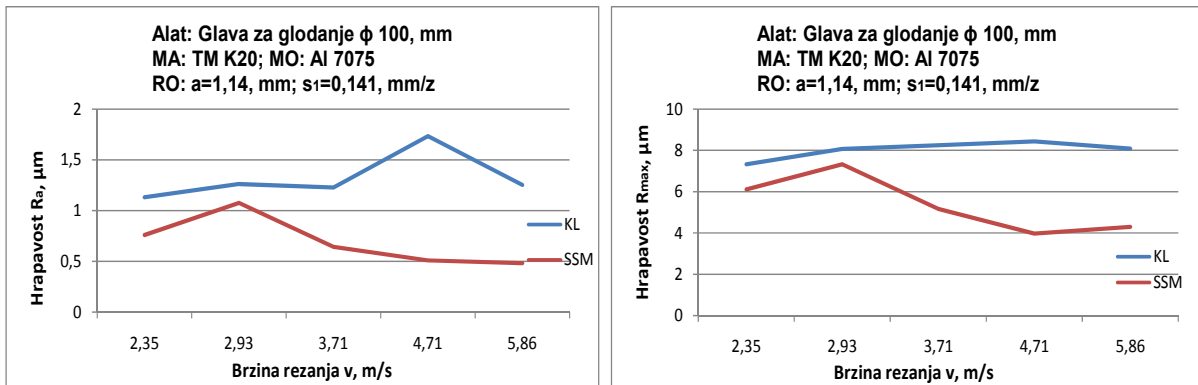
Na narednom dijagramu prikazana promena srednje aritmetičke hrapavosti R_a i maksimalne visine neravnina obrađene površine R_{\max} u funkciji dubine rezanja. Ostala dva parametra, brzina rezanja i pomak po zubu, imaju konstantnu vrednosti, slika 7.18. Slika 7.19. prikazuje takođe zavisnost vrednosti hrapavosti obrađene površine, ovog puta u funkciji brzine rezanja, dok su dubina rezanja i pomak po zubu konstantne vrednosti. Na kraju je dat i dijagram koji pokazuje promenu vrednosti hrapavosti u odnosu na vrednost pomaka po zubu. Ostala dva parametra su konstantna, slika 7.20.

Dijagrami potvrđuju rezultate dobijene pomoću Tagučii metode i ANOVA analize, a to su da najveći uticaj na vrednost hrapavosti obrađene površine ima pomak po zubu. Ostala dva parametara, brzina i dubina rezanja, pokazuju su nesigifikantnost, tj, nemaju uticaj na srednju aritmetičku hrapavosti obrađene površine R_a , odnosno maksimalnu visinu neravnina R_{\max} . Shodno dijagramu na slici 7.20. konstatuje se da pri porastu vrednosti pomaka po zubu i vrednost hrapavosti obrađene površine raste.

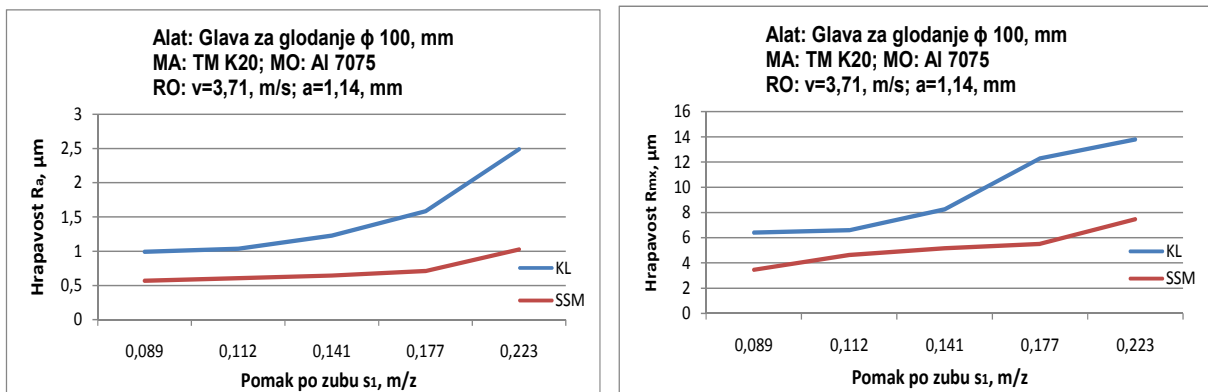


Slika 7.18. Promena vrednosti hrapavosti obrađene površine u zavisnosti od dubine rezanja ($v=\text{const.}$; $s_1=\text{const.}$)

7.0. Analiza rezultata istraživanja

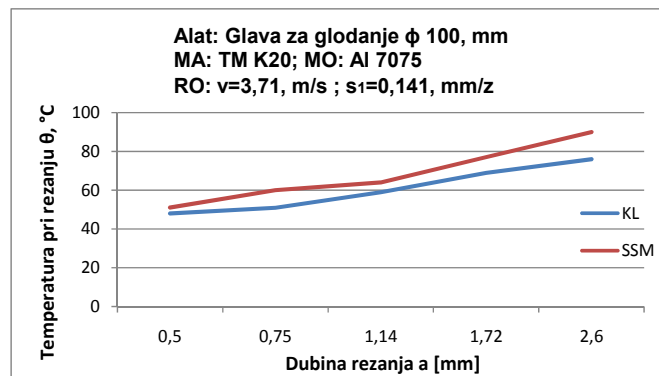


Slika 7.19. Promena vrednosti hrapavosti obrađene površine u zavisnosti od brzine rezanja ($a=\text{const.}$; $s_1=\text{const.}$)



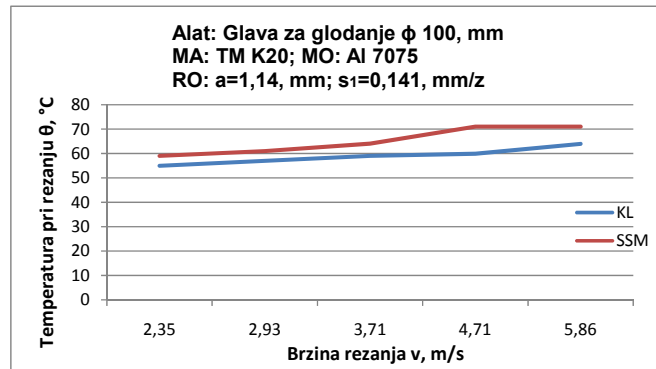
Slika 7.20. Promena vrednosti hrapavosti obrađene površine u zavisnosti od pomaka po zubu ($v=\text{const.}$; $a=\text{const.}$)

Sledi dijagram zavisnosti temperature u zoni rezanja θ u funkciji dubine rezanja, dok su brzina rezanja i pomak po zubu konstantne vrednosti, slika 7.21. Slika 7.22. prikazuje takođe zavisnost temperature ovog puta u funkciji brzine rezanja, dok su dubina rezanja i pomak po zubu konstantne vrednosti. Kao i u predhodne dve analize na kraju je dat i dijagram koji pokazuje promenu temperature u odnosu na vrednost pomaka po zubu. Ostala dva parametra su konstantna, slika 7.23.

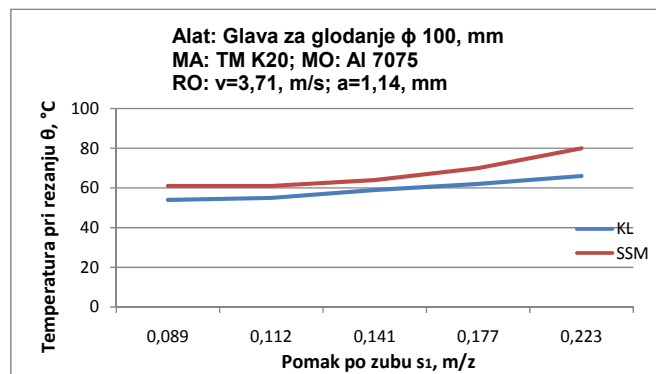


Slika 7.21. Promena vrednosti temperature u zoni rezanja u zavisnosti od dubine rezanja ($v=\text{const.}$; $s_1=\text{const.}$)

7.0. Analiza rezultata istraživanja



Slika 7.22. Promena vrednosti temperature u zoni rezanja u zavisnosti od brzine rezanja ($a=\text{const.}$; $s_1=\text{const.}$)



Slika 7.23. Promena vrednosti temperature u zoni rezanja u zavisnosti od pomaka po zubu ($v=\text{const.}$; $a=\text{const.}$)

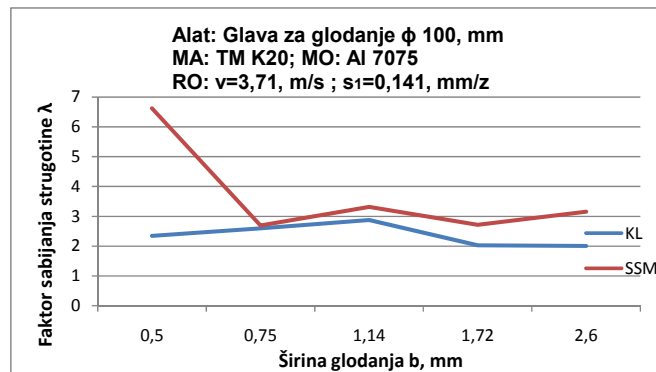
Prethodni dijagrami potvrđuju rezultate dobijene pomoću Tagučić metode i ANOVA analize, a to su da na vrednost temperature u zoni rezanja uticaj imaju sva tri varirana parametra. Primetno je da pri porastu brzine rezanja, pomaka po zubu, odnosno dubine rezanja raste i vrednosti temperature u zoni kontakta. Ako se pogleda dijapazon promene vrednosti temperature, uviđa se da je najveći raspon promene temperature pri variranju dubine rezanja, zatim sledi pomak po zubu i na kraju brzina rezanja. Uparavo takav redosled zavisnosti je dobijen pomoću Tagučić metode i ANOVA analize.

Zavisnost faktora sabijanja strugotine λ u funkciji širine glodanja, pri konstantnoj vrednosti brzine rezanja i pomaka po zubu, prikazana je na slici 7.24. Slika 7.25. prikazuje faktora sabijanja strugotine, kada su konstantne vrednosti širina glodanja i pomak po zubu, dok je promenjiva vrednost brzina rezanja. Na kraju je dat i dijagram koji pokazuje promenu vrednosti faktora sabijanja strugotine u odnosu na vrednost pomaka po zubu. Ostala dva parametra su konstantna, slika 7.26.

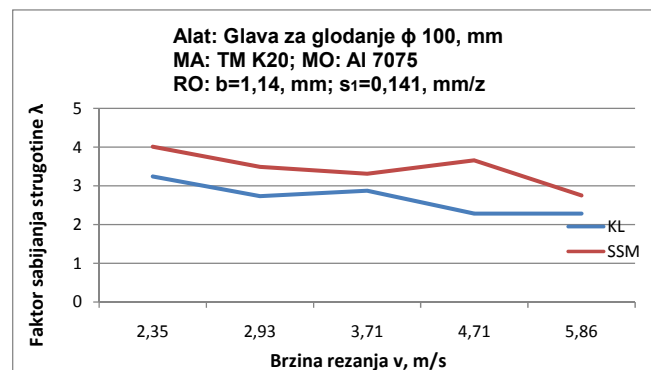
Na osnovu analize dijagrama vidi se da je kod konvencionalnog načina livenja (KL) uticajni parametar za koji može da se ustanovi zavisnost jedino pomak po zubu. Ostala dva faktora nemaju stabilan proces rasta ili opadanja, shodno tome mogu se proglasiti za nesignifikantne. Ovakvi rezultati su dobijeni i na osnovu disperzione analize kod oba tipa faktornih planova, kod modela sa uticajem i kod modela bez uticaja. Kada se pogledaju linije koje oslikavaju SSM metod livenja može se zaključiti da sva tri parametra u izvesnoj meri imaju

7.0. Analiza rezultata istraživanja

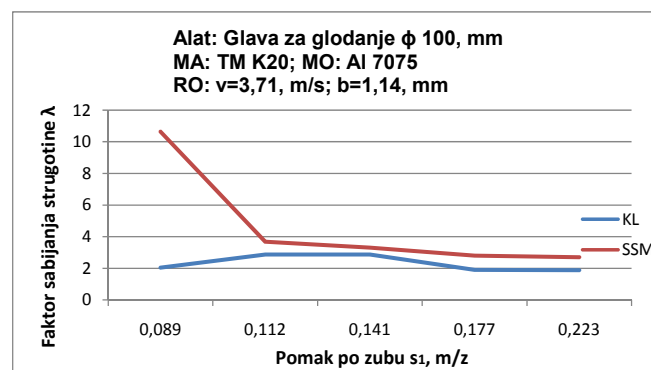
uticaj na faktor sabijanja strugotine. Primećuje se da sa porastom brzine rezanja, pomaka po zubu, odnosno širine glodanja opada i vrednost faktora sabijanja strugotine. Ovakva pojava da kod SSM metode livenja sva tri faktora imaju uticaj na vrednost faktora sabijanje strugotine, a kod KL samo jedan parametar, može da se tumači činjenicom da nova metoda livenja daje kompaktniju leguru. Kad se to kaže misli se da je kod SSM posupka livenja dobijena sitnija struktura zrna uz veću količinu prisutnog eutektikuma, pa shodno tome vrši se bolje slaganje zrna u samom korenu strugotine.



Slika 7.24. Promena vrednosti faktora sabijanja strugotine u zavisnosti od širine glodanja ($v=\text{const.}$; $s_1=\text{const.}$)



Slika 7.25. Promena vrednosti faktora sabijanja strugotine u zavisnosti od brzine rezanja ($b=\text{const.}$; $s_1=\text{const.}$)



Slika 7.26. Promena vrednosti faktora sabijanja strugotine u zavisnosti od pomaka po zubu ($v=\text{const.}$; $b=\text{const.}$)

7.3. Analiza rezultata dobijenih putem različitih modela (DoE, VNM, FL)

Tokom istraživanja su razvijeni različiti modeli za izračunavanje vrednosti izlaznih karakteristika procesa obrade glodanjem (sila rezanja, hrapavost obrađene površine, temperature u zoni rezanja i faktora sabijnja strugotine). Pri tome su korišćene različite metode (DoE, VNM, FL). Verifikacija tačnosti tih modela je izvršena na osnovu 6 dodatnih eksperimenata, izvedenih po planu koji je dat u tabeli 7.2. Prilikom realizacije prethodno pomenutih modela, nisu korišćeni rezultati dobijeni tokom ovih 6 eksperimenata. Analiza odstupanja modela, u vidu greške, izvršena je za oba načina livenja, konvencionalno livene (KL) legure i legure livene novom SSM metodom.

Tabela 7.2. Plan dodatnih eksperimenata istraživanja za analizu modela čeonog / obimnog glodanja.

| Redni broj | Faktor | | |
|------------|--------|-----------------------|-----------|
| | v, m/s | s ₁ , mm/z | a / b, mm |
| 1 | 3.71 | 0.141 | 0.75 |
| 2 | 3.71 | 0.141 | 1.72 |
| 3 | 3.71 | 0.112 | 1.14 |
| 4 | 3.71 | 0.177 | 1.14 |
| 5 | 2.93 | 0.141 | 1.14 |
| 6 | 4.71 | 0.141 | 1.14 |

Radi preglednijeg izgleda dijagrama uvedene su sledeće skraćenice za modele:

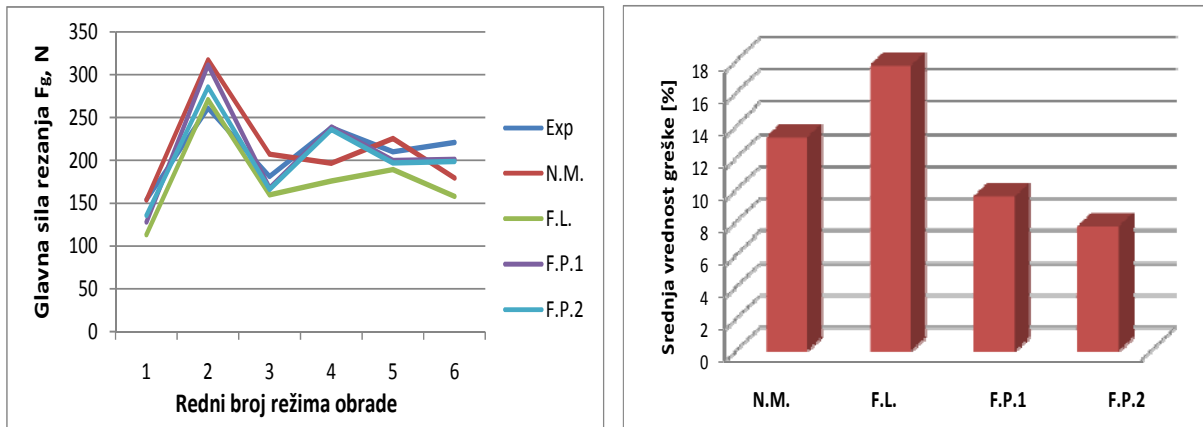
- N.M. - model formiran na bazi neuronskih mreža
 - F:L. - model formiran na bazi fazi logike
 - F.P.1 - model dobijen na osnovu faktornog plana, bez međusobnog uticaja faktora
 - F.P.2 - model dobijen na osnovu faktornog plana, sa međusobnim uticajem faktora
- Eksperimentalne vrednosti su prikazane skraćenicom Exp.

Analiza je izvršena za sledeće funkcije obradivosti: glavnu silu rezanja F_g , silu prodiranja F_p , temperaturu u zoni rezanja Q , kao i za dve mere hrapavosti obrađene površine, R_a - srednju aritmetičku hrapavost obrađene površine i R_{max} - maksimalnu visinu neravnina, kao i za faktor sabijanja strugotine λ . Analiza je izvršena u vidu dijagrama gde su na apcisi u koordinantnom sistemu prikazani odgovarajući redni brojevi režima obrade iz tabele 7.2., dok su na ordinati parametri obradivosti. Pored ovog dijagrama dat je i dijagram u vidu histograma koji pokazuje kolika je srednja procentualna greška za odgovarajući model, uzimajući u obzir odstupanje od eksperimentalnih rezultata za ovih 6 režima obrade.

Slika 7.27. prikazuje dijagram odstupanja rezultata dobijenih uz pomoć odgovarajućeg modela za glavnu silu rezanja F_g kod KL legura. Takođe je dat i histogram sa srednjom procentualnom greškom za svaki model.

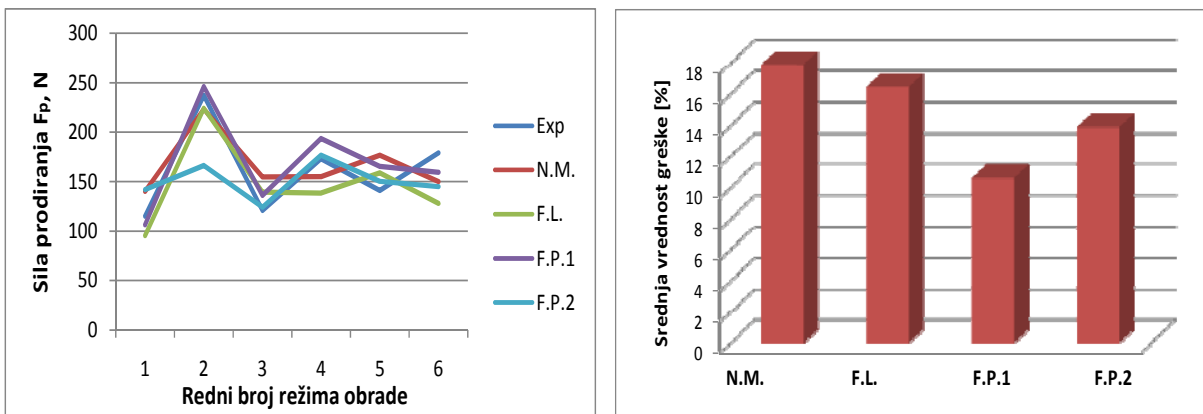
Sa dijagrama se vidi da najmanju grešku odstupanja daje model dobijen na osnovu faktornog plana sa međusobnim uticajem faktora, dok nešto lošiju vrednost daje isto faktorni model bez međusobnog uticaja faktora. Modeli veštačke inteligencije su dali grešku oko 15% što se može smatrati povoljnim, s obzirom na broj eksperimentalnih podataka sa kojima je vršena obuka modela. Modeli su obučavani sa 21-im podatkom od mogućih 125 različitih kombinacija. Ukupan broj različitih kombinacija se dobija na osnovu 3 faktora koja se variraju na 5 nivoa ($5 \times 5 \times 5 = 125$).

7.0. Analiza rezultata istraživanja



Slika 7.27. Dijagram odstupanja modela od ekperimentom dobijene glavne sile rezanja F_g i srednja procentulana greška za svaki model (KL)

Na slici 7.28. dat je dijagram sa rezultatima dobijenim uz pomoć odgovarajućeg modela za silu prodiranja F_p kod KL legura. Uporedno je prikazan i histogram sa srednjom procentualnom greškom za svaki model.



Slika 7.28. Dijagram odstupanja modela od ekperimentom dobijene sile prodiranja F_p i srednja procentulana greška za svaki model (KL)

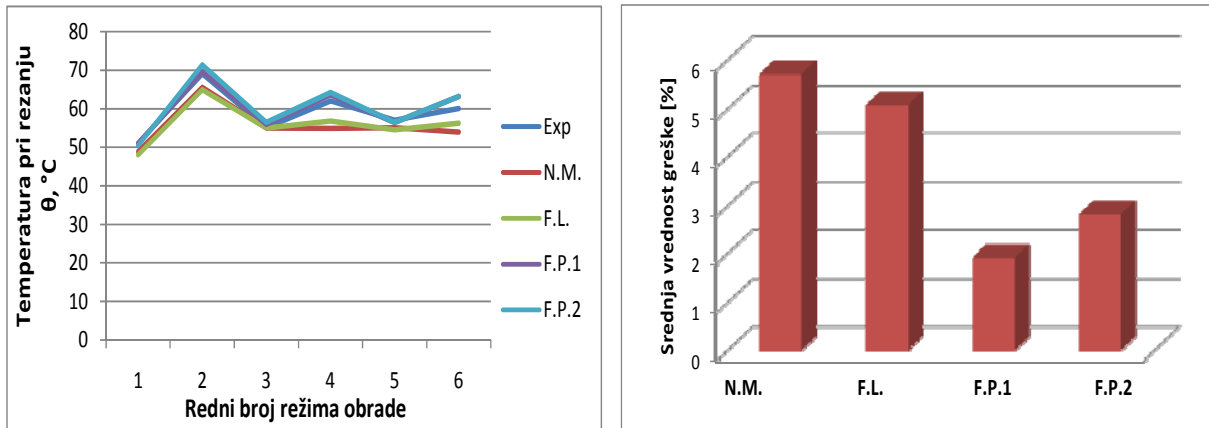
Analizirajući histograme primetno je da najmanju grešku odstupanja daje model dobijen na osnovu faktornog plana bez međusobnog uticaja faktora, nešto lošiju vrednost daje isto faktorni model sa međusobnim uticajem faktora. Modeli veštačke inteligencije su dali grešku oko 16% što se može smatrati kao dobar rezultat.

Slika 7.29. prikazuje dijagram odstupanja rezultata dobijenih uz pomoć odgovarajućeg modela za temperaturu u zoni kontakta θ kod KL legura. Takođe je dat i histogram sa srednjom procentualnom greškom za svaki model.

Shodno vizuelnoj analizi dijagrama, odnosno histograma vidi se da sva četiri modela izuzetno dobro prate eksperimentalne vrednosti, odnosno ne bi bila greška da se bilo koji model izabere kao adekvatan. Za svaki model je dobijena greška ispod 6% što se može smatrati kao dobar rezultat. Može se istaći da je dovoljan broj eksperimentalnih podataka uvršten pri formiranju

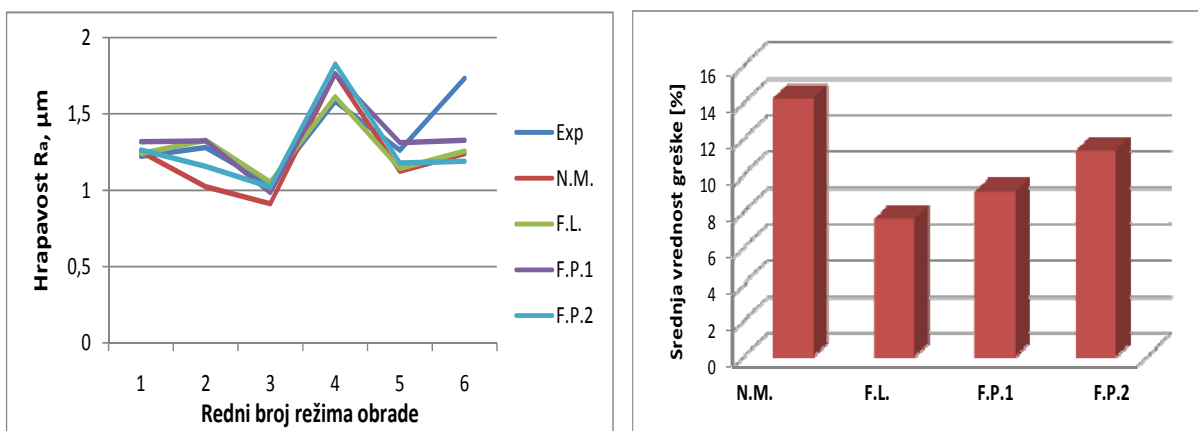
7.0. Analiza rezultata istraživanja

ovih modela. I ovog puta je najbolji od sva četiri, dovoljno dobra modela, bio model dobijen na osnovu faktornog plana bez međusobnog uticaja faktora.



Slika 7.29. Dijagram odstupanja modela od ekperimentom dobijene temperature u zoni kontakta θ i srednja procentulana greška za svaki model (KL)

Na slici 7.30. dat je dijagram sa rezultatima dobijenim uz pomoć odgovarajućeg modela za srednju aritmetičku hrapavost R_a kod KL legure, kao i histogram sa srednjom procentualnom greškom za svaki model.

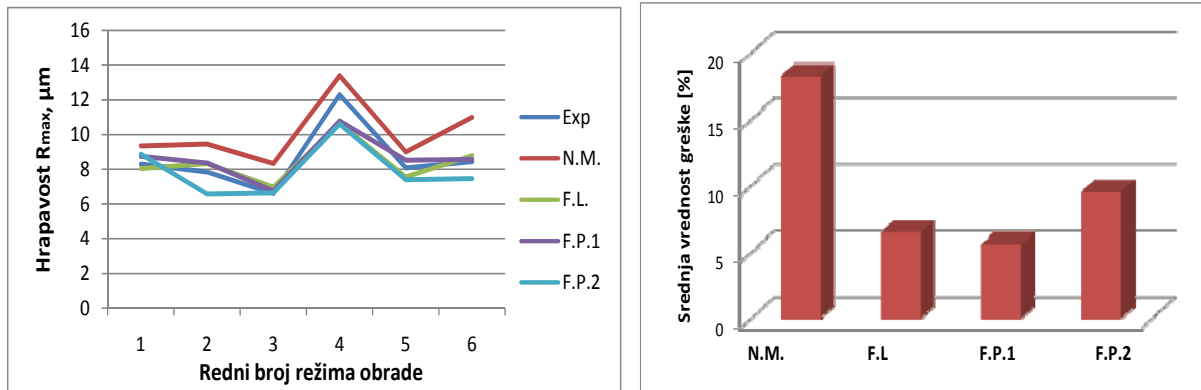


Slika 7.30. Dijagram odstupanja modela od ekperimentom dobijene srednje aritmetičke hrapavosti R_a i srednja procentulana greška za svaki model (KL)

Sa dijagrama se može zaključiti da ovoga puta najmanju grešku odstupanja daje model formiran na bazi fazi logike, dok nešto lošiju vrednost daje model dobijen na osnovu faktornog plana bez međusobnog uticaja faktora. Ostala dva modela daju grešku oko 13% što se takođe može smatrati kao povoljno, s obzirom na broj eksperimentalnih podataka sa kojim je vršena obuka modela.

Slika 7.31. prikazuje dijagram odstupanja rezultata dobijenih uz pomoć odgovarajućeg modela za maksimalnu visinu neravnina R_{max} kod KL legure aluminijuma, kao i histogram sa srednjom procentualnom greškom za svaki model.

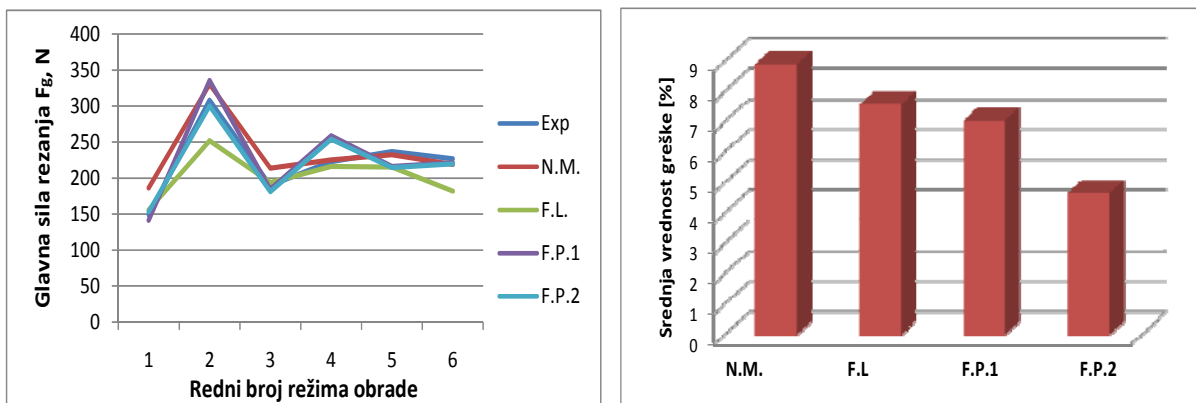
7.0. Analiza rezultata istraživanja



Slika 7.31. Dijagram odstupanja modela od ekperimentom dobijene maksimalne visine neravnina R_{max} i srednja procentulana greška za svaki model (KL)

Slično kao i kod prethodne analize, sa dijagrama se vidi da najmanju grešku odstupanja daju model formiran na bazi fazi logike i model dobijen na osnovu faktornog plana bez međusobnog uticaja faktora. Primetno je, da je ovog puta model na bazi neuronskih mreža dao malo veću grešku u odnosu na ostale modele, ali ne u tolikoj meri da bi se morao odbaciti.

Na slici 7.32. dat je dijagram sa rezultatima dobijenim uz pomoć odgovarajućeg modela za glavnu silu rezanja F_g kod nove metode livenja legure aluminijuma (SSM). Uporedno je prikazan i histogram sa srednjom procentualnom greškom za svaki model.

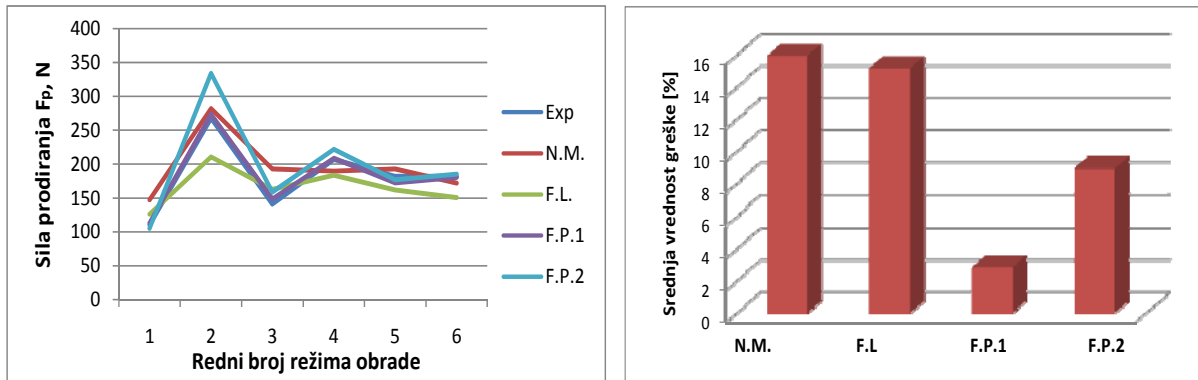


Slika 7.32. Dijagram odstupanja modela od ekperimentom dobijene glavne sile rezanja F_g i srednja procentulana greška za svaki model (SSM)

Analizirajući rezultate ovoga puta se zaključuje da sva četiri modela izuzetno dobro prate eksperimentalne vrednosti, odnosno ne bi bila greška bilo koji model da se izabere. Za svaki model je dobijena greška ispod 9% što se može smatrati kao dobar rezultat. Takođe se može istaći da je dovoljan broj eksperimentalnih tačaka uvršten pri pravljenju oih modela. Kao najbolji od sva četiri dovoljno dobra modela se ističe model dobijen na osnovu faktornog plana sa međusobnim uticajem faktora.

Slika 7.33. prikazuje dijagram odstupanja rezultata dobijenih uz pomoć odgovarajućeg modela za silu prodiranja F_p kod nove metode livenja legure aluminijuma (SSM). Takođe je dat i histogram sa srednjom procentualnom greškom za svaki model.

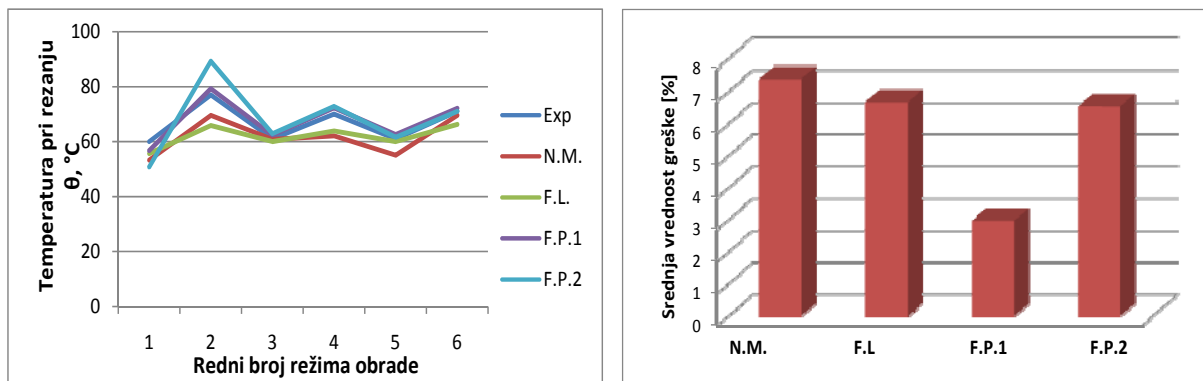
7.0. Analiza rezultata istraživanja



Slika 7.33. Dijagram odstupanja modela od ekperimentom dobijene sile prodiranja F_p i srednja procentulana greška za svaki model (SSM)

Prikazana analiza u vidu dijagrama donosi informaciju da najmanju grešku odstupanja kod formiranih modela ima model faktornog plana bez međusobnog uticaja faktora, dok nešto lošiju vrednost daje isto faktorni model sa međusobnim uticajem faktora. Modeli veštačke inteligencije ovog puta prikazuju gešku oko 15% što se može smatrati kao povoljno, kada se uzme u obzir na broj eksperimentalnih podataka sa kojim je vršena obuka modela.

Na slici 7.34. dat je dijagram sa rezultatima dobijenim uz pomoć odgovarajućeg modela za temperaturu u zoni kontakta θ kod nove metode livenja (SSM), kao i histogram sa srednjom procentualnom greškom za svaki model.

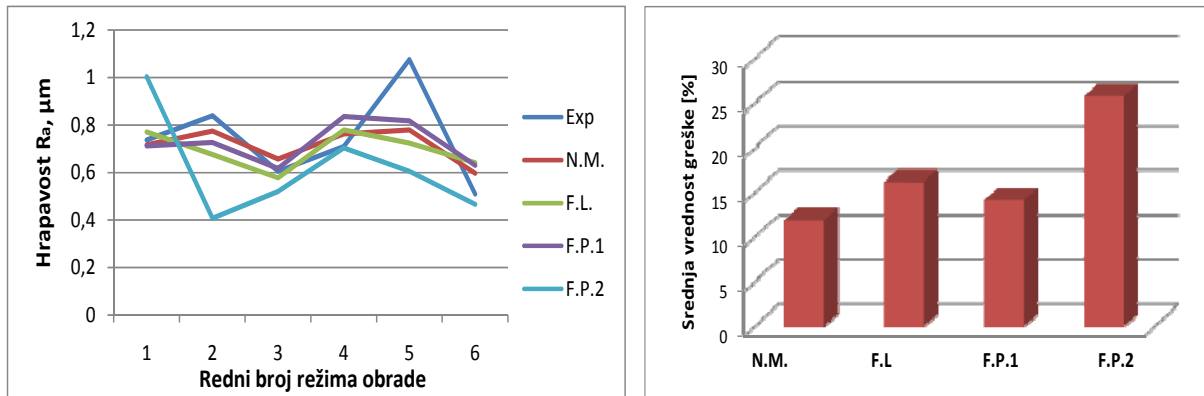


Slika 7.34. Dijagram odstupanja modela od ekperimentom dobijene temperature u zoni kontakta θ i srednja procentulana greška za svaki model (SSM)

Slično kao i kod modela kod legure konvencionalno livene, sa dijagrama se vidi da sva četiri modela izuzetno dobro prate eksperimentalne vrednosti, odnosno ovog puta ne bi bila greška bilo koji model da se izabere. Za svaki model je dobijena greška ispod 8% što se može smatrati kao dobar rezultat. Takođe se može istaći da je dovoljan broj eksperimentalnih podataka uvršten pri realizaciji ovih modela. I ovog puta najbolji od sva četiri dovoljno dobra modela je bio model dobijen na osnovu faktornog plana bez međusobnog uticaja faktora.

Slika 7.35. prikazuje dijagram odstupanja rezultata dobijenih uz pomoć odgovarajućeg modela za srednju aritmetičku hrapavost R_a kod nove metode livenja (SSM). Uporedno je prikazan i histogram sa srednjom procentualnom greškom za svaki model.

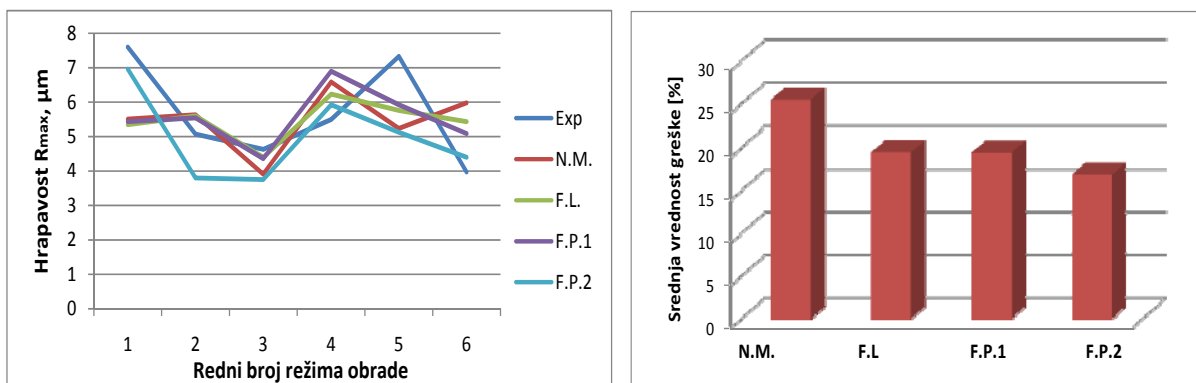
7.0. Analiza rezultata istraživanja



Slika 7.35. Dijagram odstupanja modela od ekperimentom dobijene srednje aritmetičke hrapavosti R_a i srednja procentulana greška za svaki model (SSM)

Sa dijagrama se vidi da najmanju grešku odstupanja daje model formiran na bazi neuronskih mreža, koji je u rangu sa modelom dobijenim na osnovu faktornog plana bez međusobnog uticaja faktora i modelom fazi logike. Nešto lošiju vrednost daje model dobijen na osnovu faktornog plana sa međusobnim uticajem faktora.

Na slici 7.36. dat je dijagram sa rezultatima dobijenim uz pomoć odgovarajućeg modela za maksimalnu visinu neravnina R_{max} kod nove metode livenja (SSM), kao i histogram sa srednjom procentualnom greškom za svaki model.

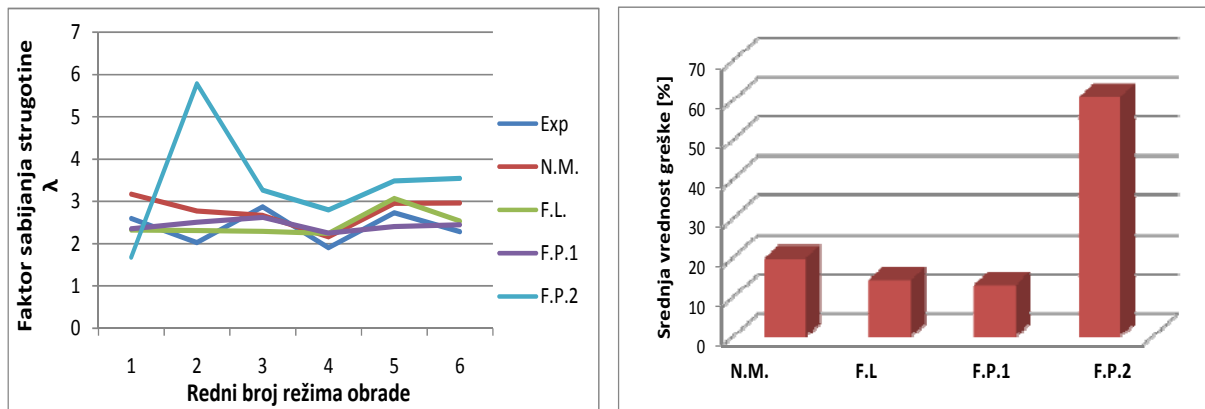


Slika 7.36. Dijagram odstupanja modela od ekperimentom dobijene maksimalne visine neravnina R_{max} i srednja procentulana greška za svaki model (SSM)

Analizirajući dijagram i histogram zaključuje se da najmanju grešku odstupanja ima model dobijen na osnovu faktornog plana sa međusobnim uticajem faktora, dok nešto lošiju vrednost daju model dobijen na osnovu faktornog plana sa međusobnim uticajem faktora i model fazi logike. Model dobijen uz pomoć neuronskih mreža ovog puta bi trebalo odbaciti jer njegova srednja greška iznosi oko 25% što se može smatrati već dovoljno velikom greškom, tj. ovaj model ima nedovoljan broj eksperimentalnih podataka sa kojima je vršena obuka modela.

Slika 7.37. prikazuje dijagram odstupanja rezultata dobijenih uz pomoć odgovarajućeg modela za faktor sabijanja strugotine λ kod KL legure aluminijuma. Takođe je dat i histogram sa srednjom procentualnom greškom za svaki model.

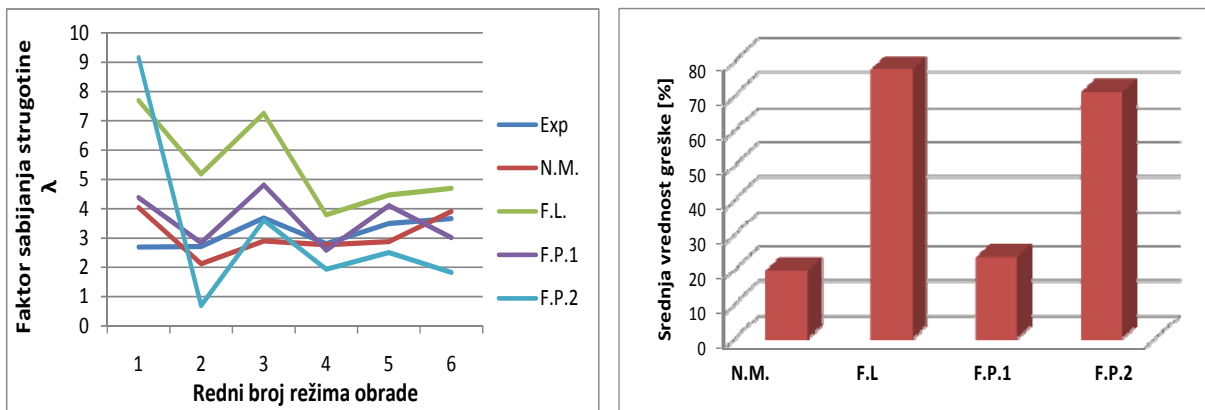
7.0. Analiza rezultata istraživanja



Slika 7.37. Dijagram odstupanja modela od eksperimentom dobijenog faktora sabijanja strugotine λ i srednja procentulana greška za svaki model (KL)

Sa dijagrama se vidi da prva tri modela dobro prate eksperimentalne vrednosti, gde je za svaki model dobijena greška ispod 15% što se može smatrati kao dobar rezultat. Najmanju grešku odstupanja daje model dobijen na osnovu faktornog plana bez međusobnog uticaja faktora, dok veoma veliku vrednost greške daje model dobijen na osnovu faktornog plana sa međusobnim uticajem faktora od 60% i njega bi trebalo odbaciti pri izboru najpovoljnijeg modela.

Na slici 7.38. dat je dijagram sa rezultatima dobijenim uz pomoć odgovarajućeg modela za faktor sabijanja strugotine λ nove metode livenja legure aluminijuma (SSM). Uporedno je prikazan i histogram sa srednjom procentualnom greškom za svaki model.



Slika 7.38. Dijagram odstupanja modela od eksperimentom dobijenog faktora sabijanja strugotine λ i srednja procentulana greška za svaki model (SSM)

Analizirajući rezultate u vidu dijagrama primetno je da model dobijen na bazi neuronskih mreža i model dobijen na osnovu faktornog plana bez međusobnog uticaja faktora, dobro prate eksperimentalne vrednosti, gde su dobijene greška ispod 20% što se može smatrati kao dobar rezultat za ovako mali broj eksperimentalnih podataka sa kojim je vršena obuka kod ovih modela. Modeli su obučeni sa samo 15 podataka od mogućih 125 različitih kombinacija. Veoma veliku vrednost greške daje model dobijen na osnovu fazi logike i model dobijen na osnovu faktornog plana sa međusobnim uticajem faktora i njih bi ovoga puta trebalo odbaciti pri izboru najpovoljnijeg modela.

7.0. Analiza rezultata istraživanja

Primetna je velika greška kod modela koji je dobijen na osnovu faktornog plana sa međusobnim uticajem faktora pri analizi tačnosti za izlaznu veličinu faktor sabijanja strugotine λ kod oba tipa livenih legure. Ova pojava se može tumačiti činjenicom da modeli odnosno jednačine koje se koriste pri realizaciji ovog modela u sebi sadrže proizvod uticaja jednog faktora na drugi. Samim tim ukoliko jedan od tri varirana faktora nema uticaj, odnosno nije sa sigurnošću utvrđen njegov uticaj na izlaznu karakteristiku procesa, a što se u ovom slučaju zbog malog broja podataka može konstatovati, model će davati promenjive izlazne veličine. Ova pojava se više oseti kod modela faktornih planova sa međusobnim uticajem u odnosu na model bez međusobnog uticaja iz razloga što jednačinama faktornog plana sa međusobnim uticajem postoji više mesta gde se pojedini faktori usmeravaju tj. množe jedan sa drugim.

8.0. ZAKLJUČCI

Na osnovu sprovedenih teoretskih i eksperimentalnih istraživanja, kao i izvršenih analiza, mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. Ispitivana obradivost legure aluminijuma pri obradi glodanjem, oznake 7075, dobijene uz pomoć dve različite metode livenja je različita. Jedan deo legure je liven konvencionalnim putem, dok je drugi deo legure liven novom metodom gde se u polutečnom stanju vrši modifikacija mikrostrukture materijala, provođenjem mehurića argona kroz leguru. Sa aspekta ocene obradivosti analiza rezultata je donela sledeće zaključke:

- Mehaničke osobine legure aluminijuma su više kod uzoraka dobijenih pomoću nove SSM metode livenja.
- Sile rezanja su približno iste kod oba uzorka, nezavisno od tipa livenja.
- Temperatura u zoni kontakta je viša kod uzoraka dobijenih pomoću nove SSM metode livenja.
- Hrapavost obrađene površine je manja kod uzoraka dobijenih pomoću nove SSM metode livenja.
- Faktor sabijanja strugotine je viši kod uzoraka dobijenih pomoću nove SSM metode livenja.

Može se zaključiti da nova metoda livenja doprinosi boljoj obradivosti legure aluminijuma, time da se dobija povoljnija hrapavost obrađene površine i oblik strugotine koji ima veći faktor sabijanja strugotine, odnosno strugotina je većeg poprečnog preseka u samom korenu, što doprinosi povoljnijem procesu obrade materijala. Nepovoljne pojave su veća temperatura u zoni rezanja, odnosno otpori rezanja. Međutim, temperatura i otpori koji se javljaju pri glodanju, su u veoma malom procentu veći kod legure aluminijuma dobijene novom metodom livenja, odnosno nemaju uticaj na postojanost reznog alata.

2. Optimizacija parametara procesa obrade glodanjem, sprovedena je uz pomoć Tagučić metode, na osnovu koje je izvršen izbor optimalnih režima obrade sa ciljem da se minimalizuju izlazne karakteristike stanja procesa (funkcije obradivosti). Sprovedena je i analiza parametara koji nemaju uticaj na izlazne vrednosti funkcija obradivosti i shodno tome oni se mogu dodatno povećavati u cilju što veće produktivnosti, ako se gleda samo jedna izabrana funkcija obradivosti. Rezultati dobijeni pomoću Tagučić metode i ANOVA analize pokazuju dobro slaganje. Ukoliko se analizira više izlaznih karakteristika stanja procesa, potrebno je uraditi višekriterijumsku analizu za posmatrane funkcije obradivosti.

3. Definisane i analiza modela korena strugotine uz pomoć metoda konačnih elemenata, u cilju adaptivnog predviđanja procesa, dala je sasvim prihvatljive rezultate. Definisani modeli su simulirali proces nastajanja strugotine uz praćenje temperature koja se javlja na obratku, odnosno reznom alatu pri procesu obrade glodanjem. Uporednim prikazom, modeli dobijeni uz pomoć metode konačnih elemenata u potpunosti prate proces promene temperature, odnosno oblika strugotine koji se dobijaju eksperimentalnim putem. Odstupanja, tj. greška simulacije nije prelazila 10% što se smatra uspešnim rezultatom.

4. Modeliranjem funkcija obradivosti procesa obrade glodanjem, odnosno parametara režima obrade i izlaznih karakteristika stanja procesa, stvoreni su preduslovi za predviđanje, upravljanje i optimizaciju parametara obrade. Proces modeliranja je izvršen uz pomoć matematičkih modela dobijenih na osnovu višefaktorne regresione analize i uz pomoć metoda

zasnovanih na veštačkoj inteligenciji. Dobijeni modeli su uporedno analizirani i za svaku funkciju obradivosti je predloženo usvajanje najpovoljnijeg modela sa aspekta dobijanja što manje greške odstupanja od eksperimentalnih vrednosti. Verifikacija tačnosti modela je izvršena na osnovu dodatnih eksperimenata, koji nisu prethodno korišćeni pri njihovoj realizaciji.

Mogućnost primene dobijenih rezultata

Sprovedena istraživanja na leguri aluminijuma 7075 koja je dobijena SSM metodom, kao i dobijeni rezultati, ukazuju na njene dobre karakteristike i potencijalne mogućnosti primene. Takođe ovaj postupak livenja daje kvalitetniju leguru sa aspekta mehaničkih osobina, koje su poboljšane u odnosu na konvencionalno livenu leguru. Kod SSM metode livenja dobija se manje porozan materijal što je jedan od uslova koji se postavlja projektantima pri izboru odgovarajućeg materijala u proizvodnim sistemima.

Izdvojena teoretska i eksperimentalna istraživanja pokazala su primenljivost novih metoda modeliranja na procese obrade glodanjem. Modeliranjem, upravljanjem i optimizacijom parametara procesa, gde se misli i na veličine koje definišu geometriju korena strugotine, postignuti su rezultati koji će omogućiti predviđanje uticaja pojedinih ulaznih parametara za data ograničenja i funkciju cilja. Takođe, modeli koji su razvijeni uz pomoć alatke veštačke inteligencije (neuronske mreže i fazi logike) imaju praktičnu primenu u industriji, tako da rezultati istraživanja imaju svoj značaj i u tom pogledu, odnosno mogu se integrisati u proizvodne sisteme u okviru kojih su zastupljene mašine alatke sa integrisanom memorijom za bazu znanja. Ovako verifikovani modeli dobijeni uz pomoć veštačke inteligencije, pored toga što mogu biti ugrađeni u same proizvodne sisteme, mogu da se infiltriraju i u računarske sisteme koji se zasnivaju na metodama konačnih elemenata (MKE) u cilju predviđanja funkcija obradivosti (temperatura, otpora rezanja, hrapavosti obrađene površine i oblika strugotine).

U praktični naučni doprinos disertacije se može ubrojati i razvijeni model merno-akvizicijskog sistema za merenje sila rezanja i temperatura koje se javljaju pri procesu obrade glodanjem. Centralno mesto u sistemu zauzima virtuelni instrument za merenje sila rezanja i temperature pri procesu obrade glodanjem, koji je razvijen primenom softvera za grafičko programiranje LabVIEW. Sistem omogućuje visoku efikasnost i tačnost dobijenih rezultata, zbog činjenice da je tako koncipiran da omogućava jednostavno očitavanje vrednosti sa dinamometra i termopara, koji odgovaraju ortogonalnim silama rezanja i temperaturi na mestu gde je postavljen termopar. Takođe sistem virtuelnog instrumenta omogućava prikaz najvećih vrednosti ovih veličina u jednom merenju. Dalja obrada rezultata je moguća eksportovanjem izmerenih vrednosti u programu Microsoft Excel i samim tim je olakšan proces analize rezultata. Algoritam blok dijagrama virtuelnog instrumenta je moguće iskoristiti kao osnovu za razvoj novih sistema, koji bi se mogli primeniti u eksperimentalnim istraživanjima drugih izlaznih karakteristika iz procesa obrade rezanjem.

Izvedeni računarski modeli koji vrše prevođenje ortogonalnih sila (F_x , F_y , F_z) u četiri komponente sila rezanja (F_g , F_p , F_r , F_a) pri čeonom glodanju, mogu se primeniti na sve procese koji imaju ovakav model nastajanja strugotine, tu se misli na pravac, smer kretanja i položaj obratka i alata.

Analiza modela korena strugotine uz pomoć metoda konačnih elemenata svoju primenu može da nađe u industrijskim sistemima koji imaju potrebu da predviđa proces obrade glodanjem. Uz pomoć ovih modela može se izvršiti praćenje procesa nastajanja strugotine kao i temperature koja se javlja na samom modelu obratka, odnosno reznog alata pri procesu obrade glodanjem. Ovakav model može da posluži kao osnova pri izradi novih modela koji će se

razlikovati u pogledu materijala obratka odnosno alata, kao parametara koji definišu režime pod kojima se vrši izrada odgovarajuće simulacije. Pored toga, uz malu izmenu postojećeg modela dobijenog simulacijom, mogu se dobiti i druge izlazne veličine koje prate ovaj proces, a tu se misli na napone, toplotni fluks kao i sile rezanja.

Pravci daljih istraživanja

Prvi zadatak koji se stavlja za naredna istraživanja je ispitivanje obradivosti legure aluminijuma 7075, ali posle termičke obrade, odnosno deformacionog ojačavanja. Treba očekivati još veću razliku u mehaničkim osobinama, a shodno tome i funkcije obradivosti će imati veće vrednosti. Ovo istraživanje svakako treba izvršiti jer ova legura aluminijuma najveću primenu ima posle deformacionog, odnosno termičkog ojačavanja.

Sledeći zadatak koji se nameće za dalja istraživanja je proširivanje eksperimentalnih istraživanja, sa ciljem obuhvatanja što šireg dijapazona ulaznih veličina koje se posle koriste za procese modeliranja na bazi računarskih, odnosno sistema veštačke inteligencije. Pre svega tu se misli na proširenje eksperimentalnih tačaka kod obimnog glodanja, odnosno izradu što većeg broja morfoloških snimaka korena strugotine, sa kojih bi se proširila ili proverila postojeća baza podataka.

Gledano sa tačke optimizacije parametara, postavlja se pitanje uvođenja još nekog tipa analize rezultata, koji su modifikovani na drugačijim principima obrade podataka. Tu se pre svega misli na primenu novih metoda, odnosno softvera koji se bave optimizacijom parametara.

Razvoj modela merno-akvizicijskog sistema za merenje sila rezanja i temperatura koje se javljaju pri procesu obrade glodanjem treba nastaviti u pravcu njegovog hardverskog i softverskog poboljšanja primenom savremenih senzora, radi eliminisanja neželjenih uticaja na rezultate merenja. Ovde se pre svega misli da modernizaciju prenosa signala dobijenog sa termopara i njegovo dalje prenošenje do akvizicijske kartice za prijem signala.

Dobijeni rezultati mogu biti dobra osnova za primenu novih metodologija istraživanja u traganju za novim putevima naučnih saznanja. Tu se pre svega misli na usavršavanje metode simulacije procesa glodanja, uz upotrebu što kvalitetnijih resursa računarskih sistema, što za sada predstavlja najveći problem pri daljem razvoju ove grane u proizvodnim sistemima.

Tehnike veštačke inteligencije treba proširiti, odnosno uvesti još neke nove metode koje nisu zastupljene pri izradi ove doktorske disertacije. Tu se pre svega misli na genetsko programiranje, genetske algoritme i algoritam na bazi kolonije mrava. Ovi sistemi mogu ponuditi dodatne odgovore na koje nisu adekvatno odgovorila eksperimentalna istraživanja, zbog variranja ograničenog broja parametara.

9.0. LITERATURA

1. Lazić, M.: Obrada metala rezanjem, Monografija, Mašinski fakultet Kragujevac, 2002.
2. Milikić, D.: Tehnologija obrade rezanjem - opšta i primenjena teorija, FTN Novi Sad 2003.
3. Sredanović, B.: Razvoj modela za definisanje univerzalne obradivosti na osnovu parametara procesa rezanja, Magistarski rad, Banja Luka, 2012.
4. Gostimirović, M., Milikić, D., Sekulić, M.: Osnove tehnologije obrade skidanjem materijala, FTN Novi Sad, 2015.
5. Fergani, O., Shao, Y., Liang, S.Y.: Effect of temperature on the subsurface microstructure and mechanical properties of AA 7075-T6 in machining, *Procedia CIRP* 13 (2014), 182- 185.
6. Kamguem, R., Djebara, A., Songmene, V.: Investigation on surface finish and metallic particle emission during machining of aluminum alloys using surface response methodology and desirability functions, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 69 (2013), 5-8, 1283-1298.
7. Karagiannis, S., Stavropoulos, P., Ziogas, C., Kechagias, J.: Prediction of surface roughness magnitude in computer numerical controlled end milling processes using neural networks, by considering a set of influence parameters: an aluminium alloy 5083 case study, *Proc. I.Mech.E. Part B., J. Eng. Manuf.*, 228 (2014) 2, 233-244.
8. Pinar, A.M.: Optimization of process parameters with minimum surface roughness in the pocket machining of AA5083 aluminum alloy via Taguchi method, *Arab. J. Sci. Eng.*, 38 (2013) 3, 705-714.
9. Rotella, G., Umbrello, D.: Numerical simulation of surface modification in dry and cryogenic machining of AA7075 alloy, *Procedia CIRP*, 13 (2014), 327-332.
10. Davoodi, B., Tazehkandi, A.H.: Experimental investigation and optimization of cutting parameters in dry and wet machining of aluminum alloy 5083 in order to remove cutting fluid, *J. Clean. Prod.*, 68 (2014), 234-242.
11. Kazban, R.V., Vernaza, P.K., Mason, J.J.: Measurements of forces and temperature fields in high-speed machining of 6061-T6 aluminum alloy, *Exp. Mech.*, 48 (2008) 3, 307-317.
12. Vernaza, P.K., Mason, J.J.: Experimental study of the temperature field generated during orthogonal machining of an aluminum alloy, *Exp. Mech.*, 42(2002) 2, 221-229.
13. Zaghbani, I., Songmene, V.: A force-temperature model including a constitutive law for dry high speed milling of aluminium alloys, *J. Mater. Process. Technol.*, 209 (2009), 2532-2544.
14. Veneckij, S.I.: Priče o metalima, Beograd, 1986.
15. Šidanin L.: Mašinski materijali 2, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1996.
16. Wannasin J., Schwam, D., Yurko, J.A., Rohloff, C., Woycik, G.: Hot Tearing Susceptibility and Fluidity of Semi-Solid Gravity Cast Al-Cu Alloy, *Solid State Phenomena*, 116-117 (2006), 76-79.
17. Wannasin, J., Martinez, R.A., Flemings, M.C.: A Novel Technique to Produce Metal Slurries for Semi-Solid Metal Processing, *Solid State Phenomena*, 116-117 (2006), 366-369.
18. Martinez, R.A.: A New Technique for the Formation of Semisolid Structures, MS Thesis, Professor M.C. Flemings advisor, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, June 2001.
19. Fan, Z.: *International Materials Reviews*, 47 (2002) 2, 49-85.
20. Martinez, R.A.: Formation and Processing of Rheocast Microstructures, Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, June 2004.
21. Mehrabian, R., Flemings, M.C.: *Trans. AFS* 80 (1972), 173.

22. Flemings, M.C., Riek, R.G., Young, K.P.: Rheocasting, *Materials Science and Engineering*, 25 (1976), 103-117.
23. Kovač, P., Šidjanin, L., Rajnović, D., Savković, B., Wannasin, J.: The microstructure influence on the chip formation process of Al-Cu alloy cast conventionally and in semi solid state, *Metalurgija* 51 (2012) 1, 34-38.
24. Trent, E.M.: *Metal Cutting*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 3rd edition, 1991, 188-241.
25. Kovač, P., Šidjanin, L.: Uticaj procesa nastajanja strugotine na stanje obrađene površine, *Tribologija u Industriji*, 17 (1995) 1, 12-16.
26. Kovač, P., Milikić, D.: *Rezanje metala*, FTN, Novi Sad, 1998.
27. Kronenberg, M.: *Machining Science and Application*, Pergamon Press, 1966, Oxford 410.
28. Merchant M.E.: Basic Rules of the Metal Cutting Process, *Journal of Applied Mechanics*, (1944), 3.
29. Zorev N.N., i dr.: *Razvitie nauki o rezanii metallov*, Moskva, 1967.
30. Kovac, P., Savkovic, B., Sidjanin, L., Lukac, O., Mankova, I.: The influence of material microstructure on the chip forming process, *Contemporary Materials*, 1 (2014), 69-76.
31. Sekulić, M., Jurković, Z., Hadžistević, M., Gostimirović, M.: The influence of mechanical properties of workpiece material on the main cutting force in face milling, *Metalurgija*, 49 (2010) 4, 339-342.
32. Nedić, B., Lazić, M.: *Proizvodne tehnologije – Obrada metala rezanjem*, Mašinski fakultet, Kragujevac, 2007.
33. Elgallad, E.M., Samuel, F.H., Samuel, A.M., Doty, H.W.: Machinability aspects of new Al-Cu alloys intended for automotive castings, *Journal of Materials Processing Technology*, 210 (2010) 13, 1754-1766.
34. Tash, M., Samuel, F.H., Mucciardi, F., Doty, H.W., Valtierra, S.: Effect of metallurgical parameters on the machinability of heat-treated 356 and 319 aluminum alloys, *Materials Science and Engineering A*, 434 (2006), 207-217.
35. Avramović-Cingara, G., Saleh, Ch.A.R., Jain, M.K., Wilkison, D.S.: Void Nucleation and Growth in Dual-Phase Steel 600 in Uniaxial Tension, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 40 (2009), 3117-3127.
36. Šidjanin L., Kovač P.: Fracture mechanisms in chip formation processes, *Materials Science and Technology*, 13 (1997), 439-444.
37. Merchant M.E., Ernest H.: *Chip Formation, Friction and Finish*, The Cincinnati Machine Co., Cincinnati, Ohio, 4 (1954).
38. Zorev N. N., *Metal Cutting Mechanics*, Pergamon Press, Oxford, (1996), 245-256.
39. Šidjanin L., Kovač P., Fišl J., Novović M.: *Microscopic Study of Chip Formation Process*, 3rd International Symposium Interdisciplinary Regional Research, 1998.
40. Vasilko, K.: *Analytická teória trieskového obrábania*, Prešov, 2012, 539 s.
41. Kovac, P., Sidjanin, L.: Investigation of chip forming process during aluminium machining, 9th International Scientific Conference on Flexible Technologies, Faculty Technical Sciences, Novi Sad 2006, 15-16.
42. Kovač, P., Šidjanin, L., Savković, B., Wannasin, J., Rajnović, D.: Uporedno istraživanje procesa nastajanja strugotine pri obradi legure na bazi aluminijuma, 32. Savetovanje proizvodnog mašinstva Srbije sa međunarodnim učešćem, FTN, Novi Sad, 2008, 65-68.
43. Kovač, P., Šidjanin, L.: The Chip Root Deformation of Difficult to Machine Materials, 11th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2007, Hammamet, Tunisia, 2007, 59-62.

44. Savković, B., Kovač, P., Gostimirović, M., Sekulić, M., Rajnović, D.: Experimental Studies of Nodular Cast Iron Alloys During Milling, *Journal of Production Engineering*, 13 (2010) No.1, 15-18.
45. Kovač, P., Šidanin, L., Rajnović, D., Savković, B., Wannasin, J.: The chip formation process of Al-Cu alloy cast conventionally and in semi solid state, 4th International Conference on Engineering Technologies - ICET2009, Novi Sad, 2009, 327- 331.
46. Kumanchik, L.M., Schmitz, T.L.: Improved analytical chip thickness model for milling, *Precision Engineering* 31 (2007), 317-324.
47. Banerjee, A., Feng, H.Y.,Bordatchev, E.V.: Geometry of chip formation in circular end milling, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 59 (2012), 21-35.
48. Zheleznov, G. S.: Determining the Geometric Parameters of the Chip Formed in Cutting Processes, *Russian Engineering Research*, 28 (2008) 11, 1142-1145.
49. Jared, B.H., Dow, T.A.: Investigation and prediction of chip geometry in diamond turning, *Precision Engineering* 24 (2000), 88-96.
50. Liu, K., Li, X.P., Liang, S.Y.: The mechanism of ductile chip formation in cutting of brittle materials, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 33 (2007), 875-884.
51. Woon, K.S., Rahman, M.: The effect of tool edge radius on the chip formation behavior of tool-based micromachining, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 50 (2010), 961-977.
52. Duan, C., Zhang, L.: A reliable method for predicting serrated chip formation in high-speed cutting: analysis and experimental verification, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 64 (2013) 1587-1597.
53. Ducobu, F., Filippi, E., Rivière-Lorphèvre, E.: Chip Formation and Minimum Chip Thickness in Micro-milling, <http://www.geniemeca.fpms.ac.be/Recherche/Articles/ducob2009a.pdf>
54. Kim, C.J., Bono, M., Ni, J.: Experimental analysis of chip formation in micro-milling, Conference, NAMRC XXX, West Lafayette, Indiana 2002.
55. Kim, C.J., Mayor, J.R., Ni, J.: A Static Model of Chip Formation in Microscale Milling, *Journal of manufacturing science and engineering* 126 (2005) 4, 710-718.
56. Mian, A.J., Driver, N., Mativenga, P.T.: Chip formation in microscale milling and correlation with acoustic emission signal, *Int J Adv Manuf Technol* 56 (2011), 63-78.
57. Cui, X., Zhao, J., Tian, X.: Cutting forces, chip formation, and tool wear in high-speed face milling of AISI H13 steel with CBN tools, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 64 (2013), 1737-1749.
58. Sekulić, M.: Razvoj podloga za proračun sila rezanja, Magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1998.
59. Kovac, P., Savkovic, B., Mijic, A., Sekulic, M.: Analytical and experimental study of cutting force components in face milling, *Journal of Production Engineering*, 14 (2011), 15-18.
60. Kovač, P.: Teorija obradnih procesa, FTN, Novi Sad, 2014.
61. Milikić, D.: Nova metoda za merenje temperatura pri obradi rezanjem i mogućnosti njene tehnološke i senzorske primene, Doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, 1980.
62. Kovac, P.: Istraživanje podloga za upravljanje procesom čeonog glodanja, Doktorska disertacija, FTN, Novi Sad, 1987.
63. Cherkashin, V.P., Vodilov, A.V.: Temperature Fields of a Face Mill with Uniform Cutter Life in Milling Hard Steel, *Russian Engineering Research*, 34 (2014) 4, 261-265.
64. Arsecularatne, J. A.: On prediction of tool life and tool deformation conditions in machining with restricted contact tools, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43 (2003) 7, 657–669.

65. Rech, J., Battaglia J.L., Moisan A.: Thermal influence of cutting tool coatings *Journal of Materials Processing Technology*, 159 (2005), 119-124.
66. Ćirković, N., Hadžistević, M., Jurković, Z.: Analiza uticaja režima obrade na aritmetičku hrapavost obrađene površine pri čeonom glodanju, *Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka* 26 (2011), 6, 1311-1314.
67. Stanić, J.: Teorija procesa obrade, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
68. Chen, J.C., Savage, M.A.: Fuzzy-Net-Based Multilevel In-process Surface Roughness Recognition System in Milling Operations. *Int J Adv Manuf Technol* 17 (2001), 670-676.
69. Sivarao, Castillo, Taufik.: Machining Quality Predictions: Comparative Analysis of Neural Network and Fuzzy Logic. *International Journal of Electrical and Computer Sciences IJECS* 9 (2000) 9, 60-64.
70. Samhour, S.M., Surgenor, B.W.: Surface roughness in grinding: on-line prediction with adaptive neuro-fuzzy inference system, *Transactions of NAMRI/SME*, 33 (2005) 57-64.
71. Cui, X., Zhao, J., Jia, C., Zhou, Y.: Surface roughness and chip formation in high-speed face milling AISI H13 steel, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 61(2012), 1-13.
72. Kienzle, O.: Die Bestimmung von Kräften und Leistungen an spanenden Werkzeugen und Werkzeugmaschinen, Gekürzte Wiedergabe eines Vortrages in der Fachsitzung "Betriebstechnik" der 81. VDI - Hauptversammlung, Hannover, 1951.
73. Kovac, P.: Modeliranje procesa obrade- Faktorni planovi eksperimenta, FTN, Novi Sad, 2006.
74. Cornell, J.A.: Experiments with mixtures, designs, models and the analysis of mixture data, 3rd edn. Wiley, New York, 1990.
75. Kowalski, S.M., Cornell, J.A., Vining, G.G.: Split-Plot designs and estimation methods for mixture experiments with process variables, *Technometrics* 44 (2002) 1, 72-79.
76. Kardara, P., Ebrahimia, M., Bastani, S., Jalili, M.: Using mixture experimental design to study the effect of multifunctional acrylate monomers on UV cured epoxy acrylate resins, *Prog. Org. Coat.*, 64 (2009) 1, 74-80.
77. Yin, H.F., Chen, Z.G., Gu, Z.X., Han, Y.B.: Optimization of natural fermentative medium for selenium-enriched yeast by D-optimal mixture design, *LWT. Food. Sci. Technol.*, 42 (2009) 1, 327-331.
78. Lin, S.S., Lin, J.C., Yang, Y.K.: Optimization of mechanical characteristics of short glass fiber and polytetrafluoroethylene reinforced polycarbonate composites via D-optimal mixture design, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, 49 (2010) 2, 195-203.
79. Chen, L.C., Huang, C.M., Hsiao, M.C., Tsai, F.R.: Mixture design optimization of the composition of S, C, SnO₂-codoped TiO₂ for degradation of phenol under visible light, *Chem. Eng. J.*: 165 (2010), 482-489.
80. Box, G.E.P, Wilson K.B.: On Experimental Attainment of Optimum Conditions, *Ronal Stat. Soc.*, B, 13.1, 1951.
81. Lauriere, J.L.: A language and a program for stating and solving combinato-rial problems, *Artificial Intelligence*, 10 (1978) 1, 29-127.
82. Widman, L.E., Loparo, K.A.: Artificial intelligence, simulation, and modeling: a critical survey, *Book* (1989), 1-44.
83. Popović, Z., Vuković, T.: Seminarski rad: Osnove veštačke inteligencije I, Centar za multidisciplinarne studije, Univerzitet u Beogradu 2006, 1-147.
84. Gostimirović, M.: Baza podataka obradnih procesa, FTN, Novi Sad, 2013.
85. Janjatović, D.: Primena neuronske mreže za određivanje postojanosti i temperature rezanja pri čeonom glodanju, *Diplomski - master rad*, 2010.

86. Milenković, S.: Veštačke neuronske mreže, Zadužbina Andrejević, Beograd, 1997.
87. Meireles, M.R.G., Almeida, E. P.: A comprehensive review for industrial applicability of artificial neural networks, *IEEE Trans. Ind.*, 50 (2003), 585-601.
88. Chow, M.Y., Sharpe, R.N., i Hung, J.C.: On the application and design of artificial neural networks for monitor fault detection-Part 2, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 40 (1993), 189-196.
89. Haykin, S., *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, 2nded. New York: Prentice-Hall, 1995.
90. Karry, V.: RBF neural network for thrust and torque prediction in drilling operations, University of Tasmania, School of Science and Engineering, Hobart, Tasmania, Australia, 1999.
91. Singh, A.K., Panda, S.S., Pal, S.K., Chakraborty, D.: Predicting drill wear using an artificial neural network, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 28 (2006) 5, 456-462.
92. Savković, B., Kovač, Gostimirović, M., Rodić, D., Pucovsky, V.: Application of neural networks for modeling and prediction of the machining surface roughness for steel difficult to machining, *Development in Machining Technology, Scientific Research Reports, Cracow University of Technology*, 4 (2014), 259-270.
93. Savković, B., Kovač, P., Gerić, K., Sekulić, M., Rokosz, K.: Application of neural network for determination of cutting force changes versus instantaneous angle in face milling, *Journal of Production Engineering*, 16 (2013) 2, 1-4.
94. Lin, S.C., Ting, C.J.: Drill wear monitoring using neural networks, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 36 (1996), 465-475.
95. Liu, T.I., Chen, W.Y., Anantharaman K.S.: Intelligent detection of drill wear, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 12 (1998) 6, 863-873.
96. Zuperl, U., Čuš F.: Optimization of cutting conditions during machining by using neural networks, *International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Dresden, 2002*, 1-11.
97. Zuperl, U., Čuš, F., Kiker, E.: Intelligent adaptive cutting force control in end-milling, *Technical Gazzete*, 13 (2006) 1, 15-20.
98. Zadeh, L.: Fuzzy sets. *Inform Control* 8 (1965), 338-353.
99. Sivarao, Brevern, P., El-Tayeb, N. S. M., Vengkatesh, V. C.: Mamdani Fuzzy Inference System Modeling to Predict Surface Roughness in Laser Machining, *International Journal of Intelligent Information Technology Application*, (2009), 12-18.
100. Rodić, D.: Primena fazi logike i ANFIS sistema u istraživanjima procesa obrade čeonim glodanjem, *Diplomski-master rad, FTN, Novi Sad*, 2010.
101. Hashmi, K., Baradie, M.A.E., Ryan, M.: Fuzzy logic based intelligent selection of machining parameters, *Journal of Materials Processing Technology*, 94 (1999) 2-3, 94-111.
102. Kovač, P., Rodić, D., Pucovsky, V., Savković, B., Gostimirović, M.: Application of fuzzy logic and regression analysis for modeling surface roughness in face milling, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24 (2013) 4, 755-762.
103. Klir, G.J., Folger, T.A.: *Fuzzy sets, uncertainty and information*. Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi, 1988.
104. Kovac, P., Rodic, D., Pucovsky, V., Savkovic, B., Gostimirovic, M. : Multi-output fuzzy inference system for modeling cutting temperature and tool life in face milling, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28 (2014) 10, 4247-4256.
105. Mamdani, E.H., Assilian, S.: An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, (1975), 1-13.

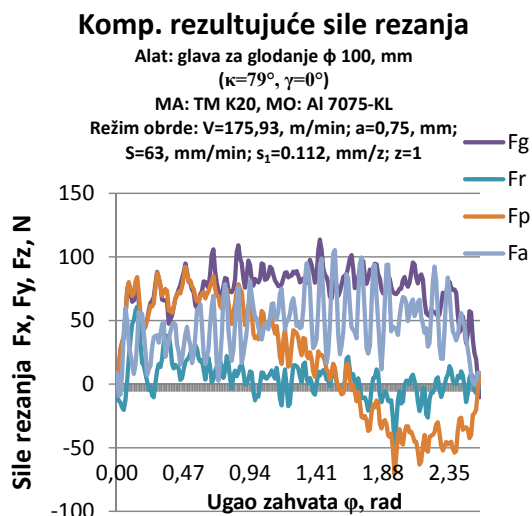
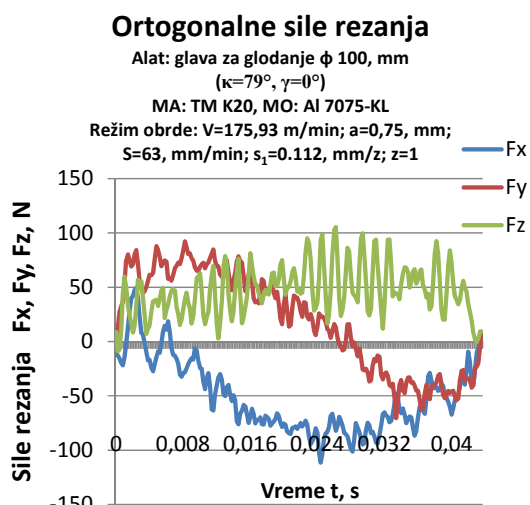
106. Sugeno, M., Kang, G.T.: Structure identification of fuzzy model, *Journal Fuzzy Sets and Systems* 28 (1988), 15-33.
107. Tsukamoto, Y.: An approach to fuzzy reasoning method. *Advances in fuzzy set theory and applications*, (1979), 137-149.
108. Andelković, B. : Principi i tehnike fazi i neuro modeliranja, Niš, 2006.
109. Fuzzy Logic Toolbox™ User's Guide, 13th Edition, The MathWorks, Inc. Natick, US, 2008.
110. Latha, B., Senthikumar, V.S.: Analysis of thrust force in drilling glass fiber-reinforced plastic composites using fuzzy logic, *Mater. Manuf. Process.*, 24 (2009) 4, 509-516.
111. Latha, B., Senthikumar, V.S.: Fuzzy rule based modeling of drilling parameters for delimitation in drilling GFRP composites, *Reinf. Plast. Compos.*, 28 (2009) 8, 951-964.
112. Ross, T.J.: *Fuzzy logic with Engineering Applications*, McGraw-Hill, New York, 1995.
113. Zadeh, L.: The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, *Information Science*, 1975.
114. Subašić, P.: Fuzzy logika i neuronske mreže, Tehnička knjiga, Beograd, 1997.
115. Rajasekaran, T., Palanikumar, K., Vinayagam, B.K.; Application of fuzzy logic for modeling surface roughness in turning CFRP composites using CBN tool, *Production Process*, 5 (2011) 2, 191-199.
116. Savković B., Kovač P., Rodić D., Gostimirović M., Pucovski V., Holešovský F.: Application of anfis for modeling and prediction of the surface roughness for steel difficult to machining, 8st International Scientific Conference on Mechanical Engineering - COMEC, Cayo Santa Maria, Cuba 2014, 1-11.
117. Lo, S.P.: An adaptive-network based fuzzy inference system for prediction of workpiece surface roughness in end milling, *Journal of Materials Processing Technology*, 142 (2003) 3, 665–675.
118. Balić, J., Korošec, M.: Intelligent tool path generation for milling of free surfaces using neural networks, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42 (2002) 10, 1171-1179.
119. Luis-Perez, C.J.: Surface roughness modeling considering uncertainty in measurements, *International Journal of Production Research*, 40 (2002) 10, 2245-2268.
120. Azouzi, R., Gullot, M.: On-line prediction of surface finish and dimensional deviation in turning using neural network based sensor fusion, *International Journal of Machine Tools and Manufacturing*, 37 (1997) 9, 1201-1217.
121. Ho, S.Y., Lee, K.C., Chen, S.S., Ho, S.J.: Accurate modeling and prediction of surface roughness by computer vision in turning operations using an adaptive neuro-fuzzy inference system, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42 (2002) 13, 1441-1446.
122. Hany, F.: Handwriting Digit Reorganization with Fuzzy Logic, *Jurnal Teknik Elektro, Indonesia*, 5 (2003), 84-87.
123. Taguchi, G.: *Quality engineering in production systems*, McGraw-Hill, New York 1989.
124. Singh, H., Kumar, P.: Optimizing cutting force for turned parts by Taguchi's parameter design approach, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 12 (2005), 97-103.
125. Sekulić, M., Hadzistević, M., Jurković, Z., Kovač, P., Gostimirović, M.: Application of Taguchi Method in the Optimization of Face Milling Parameters, 34th International Conference on Production Engineering, Niš, 2011.
126. Jurković Z.: Modeliranje i optimizacija parametara obrade primjenom evolucijskih algoritama kod inteligentnih obradnih sustava, Doktorska disertacija, Tehnički fakultet, Rijeka, 2007.

127. Lo, S.P., Chiu, J.T., Lin, H.Y.: Rapid measurement of surface roughness for face-milling aluminum using laser scattering and the Taguchi method, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26 (2005) 9, 1071-1077.
128. Escalona, P.M., Diaz, N., Cassier, Z.: Prediction of Tool Wear Mechanisms in Face Milling AISI 1045 Steel, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21 (2012) 6, 797-808.
129. Kramar, D., Sekulić M., Kovač, P., Gostimirović, M., Kopač, J.: The Implementation of Taguchi Method Quality Improvement in High-Pressure Jet Assisted Turning Process, 11th International Scientific Conference "Advanced Production Technologies" - MMA, Novi Sad 2012, 37-40.
130. Sekulić, M., Kramar, D., Kopač, J., Gostimirović, M., Kovač, P., Optimization cutting parameters based on cutting temperature in hpja turning process using taguchi's method, 11th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology - DEMI, Banja Luka 2013, 487-492.
131. Sekulić, M., Kramar, D., Kovač, P., Gostimirović, M., Kopač, J.: Application of Taguchi Method in The Optimization of High-Pressure Jet Assisted Turning Parameters, 3th International Conference on Sustainable Life in Manufacturing - SLIM, Istanbul 2012, 7-10.
132. Madić, M.J., Radovanović, M.R.: Optimalan izbor parametara arhitekture i treniranja veštačke neuronske mreže primenom Tagučić metode - studija slučaja, *FME Transactions*, 39 (2011) 2, 79-86.
133. Lazarević, D., Madić, M., Janković, P., Lazarević, A.: Surface roughness minimization of polyamide Pa-6 turning by taguchi method, *Journal of Production Engineering*, 15 (2012), 1, 29-32
134. Palanikumar, K., Muthukrishnan, N., Hariprasad, K.S.: Surface roughness parameters optimization in machining a356/sic/20p metal matrix composites by pcd tool using response surface methodology and desirability function, *Machining Science and Technology*, 12 (2008) 4, 529-545.
135. Lajis, M.A., Mustafizul, A.N.K., Nurul, A.K.M.A., Hafiz, A.M.K., Turnad, L.G.: Prediction of Tool Life in End Milling of Hardened Steel AISI D2, *European Journal of Scientific Research*, 21 (2008) 4, 592-602.
136. Alauddinel, M., Baradie, M.A., Hashmi, M.S.J.: Prediction of tool life in end milling by response surface methodology, *Journal of Materials Processing Technology*, 71 (1997) 3, 456-465.
137. Messner, G.: Modeling metal cutting process under consideration of elastic material properties, *Dissertation aus dem Werkzeugmaschinenlabor, Düsseldorf*, 2007.
138. Kulundžić, N.: Simulacija procesa rezanja u programskom paketu Ansys, *Diplomski - master rad*, 2013.
139. Fraštia, L.: Numerical solution of elastic bodies in contact by FEM utilising equilibrium displacement fields, *Comput Mech*, 41 (2007) 1, 159-174.
140. Lin, C.Z., Lin, Y.Y.: Fundamental modeling for oblique cutting by thermo-elastic-plastic FEM, *International Journal of Mechanical Sciences*, 41 (1999) 8, 941-965.
141. Kovač, Savković, B., Kulundžić, N., Gostimirović, M., Hloěšovský, F., Sekulić, M.: Simulation of temperature distribution on the 3D moving cutting tool, *Development in Machining Technology, Scientific Research Reports, Cracow University of Technology*, 5 (2015), 20-26.
142. Kulundzic, N., Kovac, P., Savkovic, B., Soos, Lj., Rokosz K.: FEM simulation of cutting processes, *Scientific Proceedings, Faculty of Mechanical Engineering, STU Bratislava*, 21 (2013) 1, 121-130.

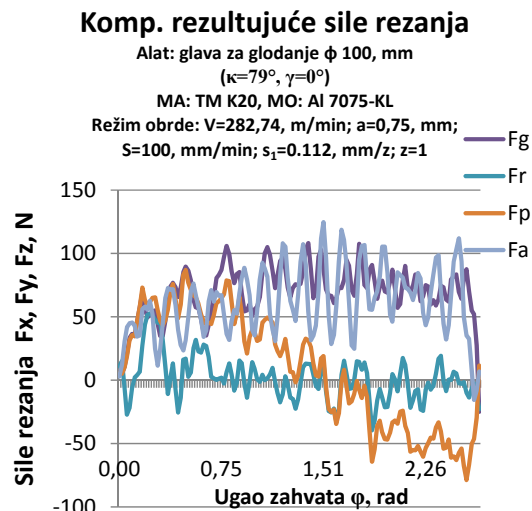
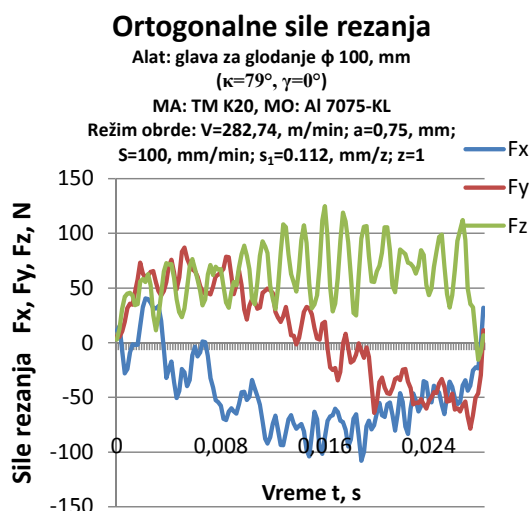
143. Grzesik, W.: The influence of thin hard coatings on frictional behaviour in the orthogonal cutting process, *Tribology International*, 33 (2000), 131-140.
144. Grzesik, W., Nieslony, P.: Physics based modelling of interface temperatures in machining with multilayer coated tools at moderate cutting speeds, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44 (2004) 9, 889-901.
145. Grzesik, W., Bartoszek, M., Nieslony, P.: Finite difference analysis of the thermal behaviour of coated tools in orthogonal cutting of steels, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44 (2004) 14, 1451-1462.
146. Grzesik, W., Nieslony, P.: Prediction of friction and heat flow in machining incorporating thermophysical properties of the coating–chip interface, *Wear*, 256 (2004) 1-2, 108-117.
147. Lazard, M., Corvisier, P.: Modeling of a tool during turning Analytical prediction of the temperature and of the heat flux at the tool's tip, *Applied Thermal Engineering*, 24 (2004) 5-6, 839-849.
148. Lazoglu, I., Altintas, Y.: Prediction of tool and chip temperature in continuous and interrupted machining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 42 (2002) 9, 1011-1022.
149. Ducobu, F., Lorphevre, E.R., Filippi, E.: Chip Formation in Micro-cutting, 9th National Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Brussels, 2012.
150. Wang, J., Gong, Y., Abba, G., Antoine, J.F., Shi, J.: Chip formation analysis in micromilling operation, *Int J Adv Manuf Technol*, 45 (2009) 5, 430-447.
151. Yang, Y., Li, J.F.: Study on mechanism of chip formation during high-speed milling of alloy cast iron, *Int J Adv Manuf Technol*, 46 (2010) 1, 43-50.
152. Calamaz, M., Coupard, D., Nouari, M., Girot, F.: Numerical analysis of chip formation and shear localisation processes in machining the Ti-6Al-4V titanium alloy, *Int J Adv Manuf Technol*, 52 (2011) 9, 887-895.
153. Manokhin, A.C., Klimenko, S.A., Melniichuk, Y.A.: The Stressed - Strained State in the Chip Forming Zone during the Finish Turning of Workpieces of Hardened Steels, *Journal of Superhard Materials*, 33 (2011) 5, 333-339.
154. Sui, X., Liu, X., Wang, D.: Development and Analysis of Milling Model Coupled Thermal-Mechanical, *International Journal of Smart Home*, 8 (2014) 2, 211-216.
155. Yaseen, S.J.: Theoretical study of temperature distribution and heat flux variation in turning process, *Al-Qadisiya Journal for Engineering Sciences*, 5 (2012) 3, 299-313.
156. Soo, S.L., Dewes, R.C., Aspinwall, D.K.: 3D FE modelling of high-speed ball nose end milling, *Int J Adv Manuf Technol*, 50 (2010) 9, 871-882.
157. Li, A., Zhao, J., Pei, Z., Zhu, N.: Simulation-based solid carbide end mill design and geometry optimization, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 71 (2014) 9, 1889-1900.
158. Constantin, C., Croitoru, S.M., Constantin, G., Străjescu, E.: FEM tools for cutting process modelling and simulation, *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, 74 (2012) 4, 149-162.
159. Constantin, C., Croitoru, S.M., Constantin, G., Bisu, C.F.: 3D FEM Analysis of Cutting Processes, *Advances in Visualization, Imaging and Simulation*, 3rd WSEAS international conference on Visualization - VIS '10, University of Algarve, Faro 2010, 41-46.
160. Tănas, I., Popovici, V., Ceau, G., Predincea, N.: Cutting edge temperature prediction using the process simulation with deform 3D software package, *Proceedings in Manufacturing Systems*, 7 (2012) 4, 265-268.
161. Tamizharasan, T., Senthilkumar, N.: Numerical simulation of effects of machining parameters and tool geometry using DEFORM-3D: Optimization and experimental validation, *World Journal of Modelling and Simulation*, 10 (2014) 1, 49-59.

162. Sharma, A., Kalra, C.S., Rampal, R.: Experimental Investigation of different variables while turning on Ti-6Al-4V using DEFORM-3D, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2 (2013) 11, 1851-1856.
163. Bhoyar, Y.R., Kamble, P.D.: Finite element analysis on temperature distribution in turning process using DEFORM-3D, *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2 (2013) 5, 901-906.
164. Zamani, H., Hermani, J.P., Sonderegger, B., Sommitsch, C.: 3D Simulation and Process Optimization of Laser Assisted Milling of Ti6Al4V, 14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations (CIRP CMMO), *Procedia CIRP*, 8 (2013), 75-80.
165. Pittalà, G.M., Monno, M.: 3D finite element modeling of face milling of continuous chip material, *Int J Adv Manuf Technol*, 47 (2010) 5, 543-555.
166. Zhang, X.L., Yao, B., Feng, W., Shen, Z.H., Wang, M.M.: Modeling of a virtual grinding wheel based on random distribution of multi-grains and simulation of machine-process interaction, *Journal of Zhejiang University - SCIENCE A - Applied Physics and Engineering*, (2015), 1-11.
167. Španielka, J., Škrobán, M., Bidulský, R.: Extrusion of short aluminium billets - simulation and semi-pilot test, *Acta Metallurgica Slovaca*, 21 (2015) 2, 164-170.
168. Šuman, H.: *Metalografija*, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1955.
169. Katalog fabrike za proizvodnju alata CORUN, *CATALOGUE/2012*.
170. Exner, H.E., Weinbruch, S.: Scanning Electron Microscopy, Metallography and Microstructures, *ASM Handbook*, ASM International, 9 (2004), 355-367.
171. Fan, X., Jiang, D., Meng, Q., Zhang, B., Wang, T.: Evolution of eutectic structures in Al-Zn-Mg-Cu alloys during heat treatment, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 16 (2006)3, 577-581.
172. Mondal, C., Mukhopadhyay, A.K.: On the nature of T(Al₂Mg₃Zn₃) and S(Al₂CuMg) phases present in as-cast and annealed 7055 aluminum alloy, *Materials Science and Engineering A*, 391 (2005) 1-2, 367-376.
173. Fan, X., Jiang, D., Meng, Q., Zhong, L.: The microstructural evolution of an Al-Zn-Mg-Cu alloy during homogenization, *Materials Letters*, 60 (2006), 1475-1479.
174. Li, X.M., Starink, M. J.: The Effect of Compositional Variations on the Characteristics of Coarse Intermetallic Particles in Overaged 7xxx Al Alloys, *Mater. Sci. Technol*, 17 (2001) 11, 1324-1328.
175. Li, Z., Xiong, B., Zhang, Y., Zhu, B., Wang, F., Liu, H.: Microstructural evolution of aluminum alloy 7B04 thick plate by various thermal treatments, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 18 (2008), 40-45.
176. Mahathaninwong, N., Plookphol, T., Wannasin, J., Wisutmethangoon, S.: T6 heat treatment of rheocasting 7075 Al alloy, *Materials Science and Engineering - A*, 532 (2012), 91-99.
177. Yang, B., Mao, W., Song, X.: Microstructure evolution of semi-solid 7075 Al alloy slurry during temperature homogenization treatment, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 23 (2013), 3592-3597.

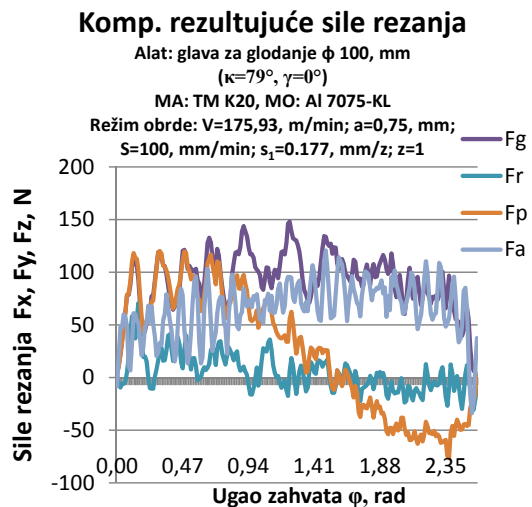
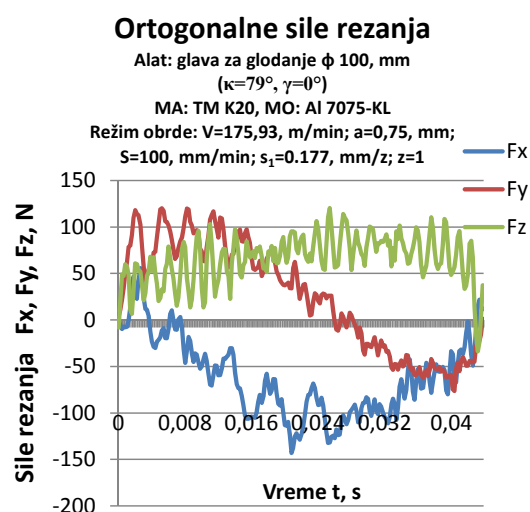
PRIOLOG 1. Parametri sila rezanja u funkciji vremena t , odnosno ugla φ



Režim obrade br 1. MO. Al7075-KL



Režim obrade br 2. MO. Al7075-KL



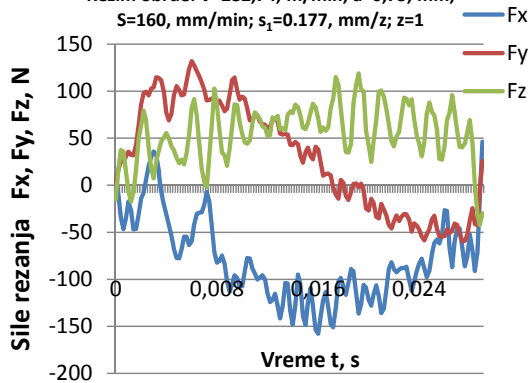
Režim obrade br 3. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$

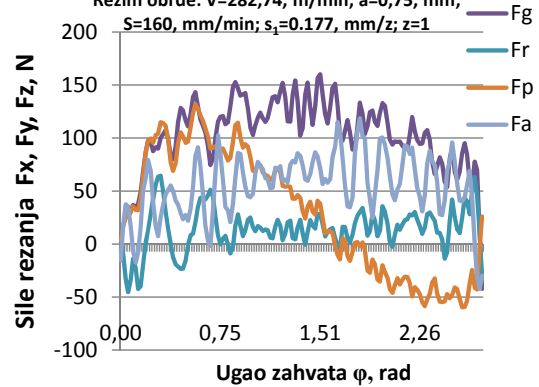


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$



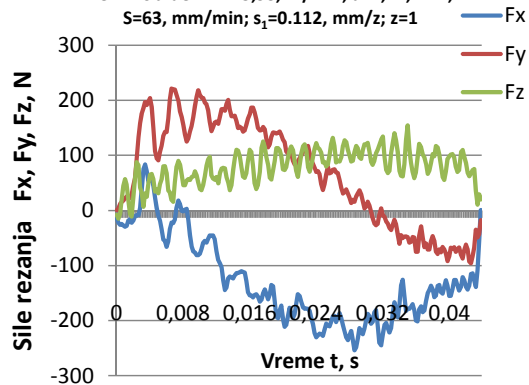
Režim obrade br 4. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$

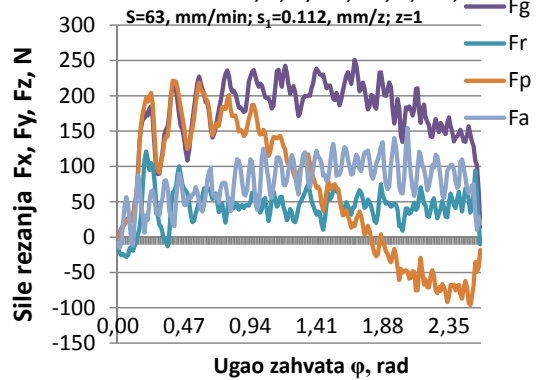


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$



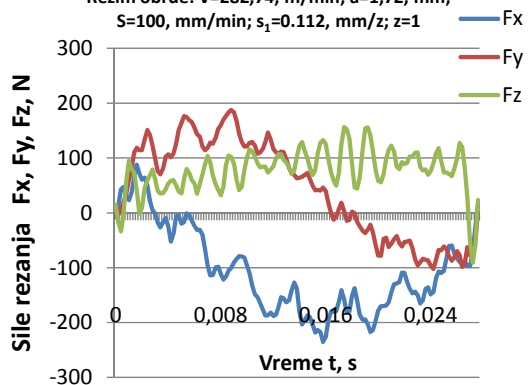
Režim obrade br 5. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$

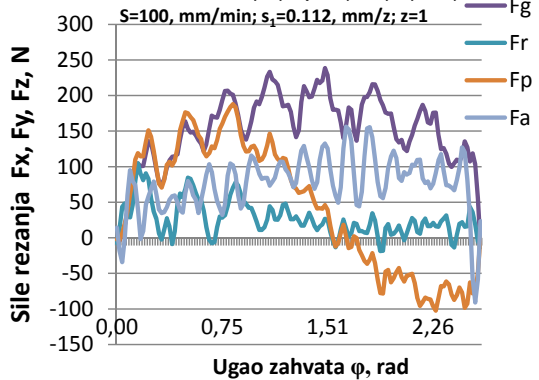


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$



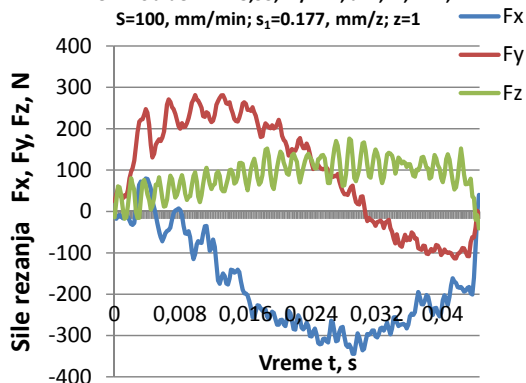
Režim obrade br 6. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$

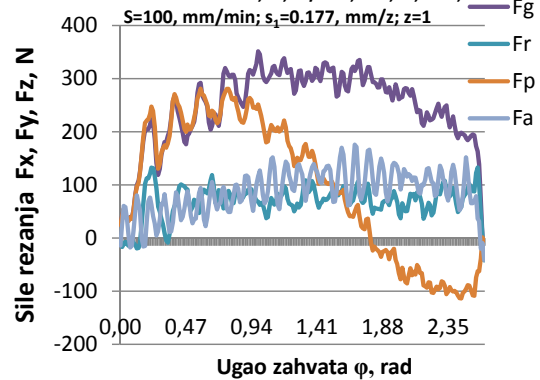


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$



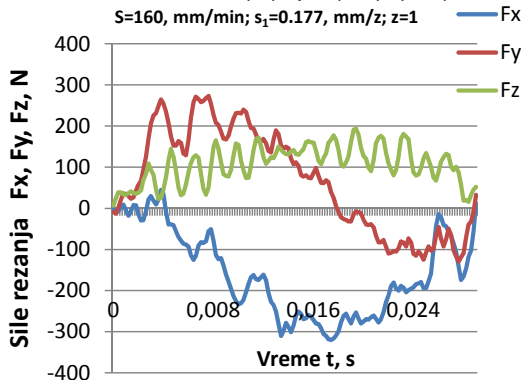
Režim obrade br 7. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$

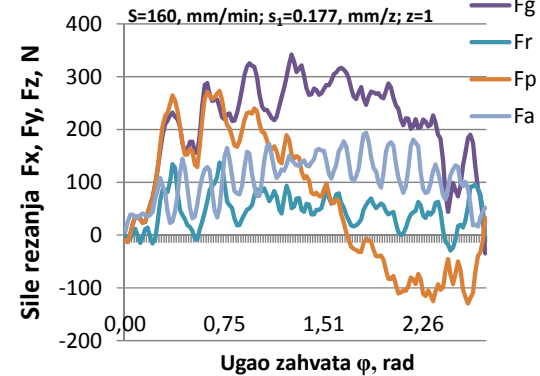


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$



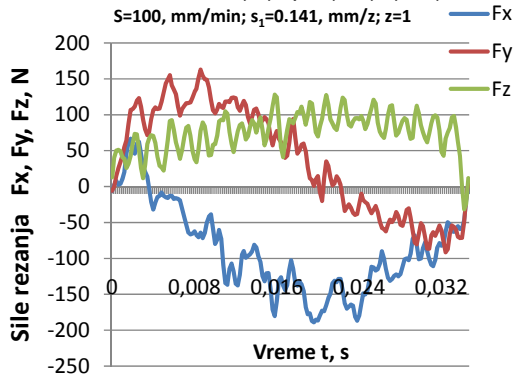
Režim obrade br 8. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

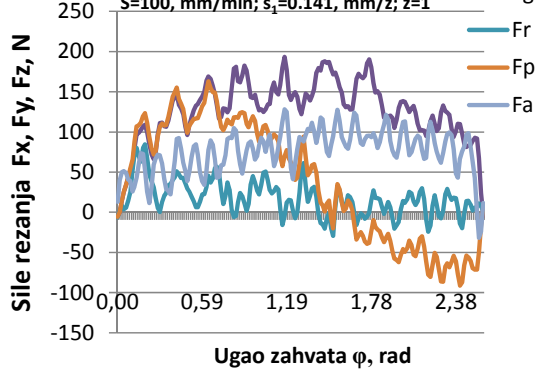


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



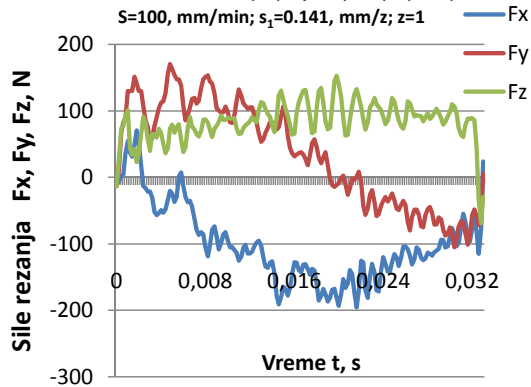
Režim obrade br 9. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

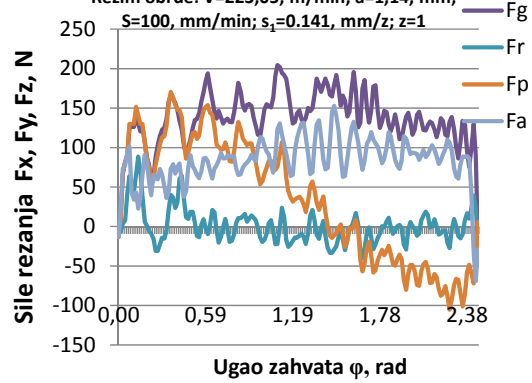


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



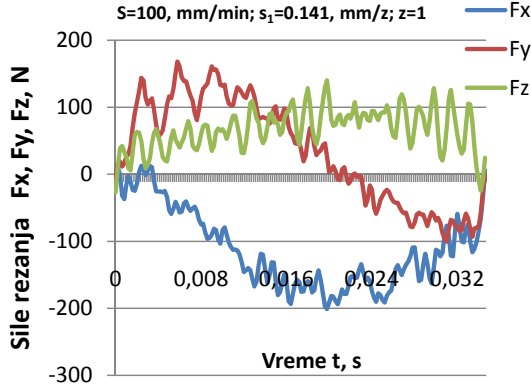
Režim obrde br 10. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

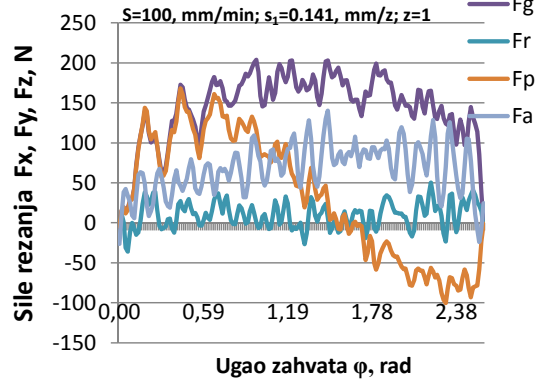


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



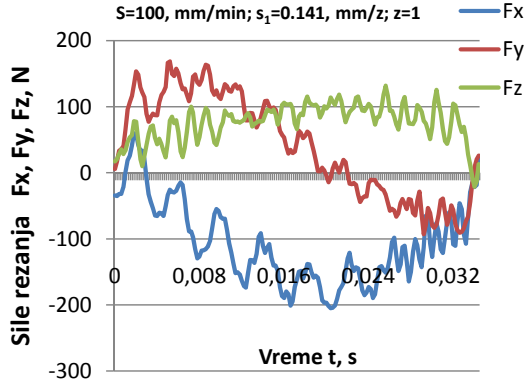
Režim obrde br 11. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

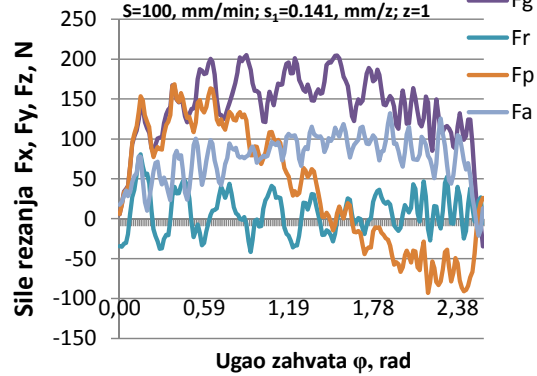


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



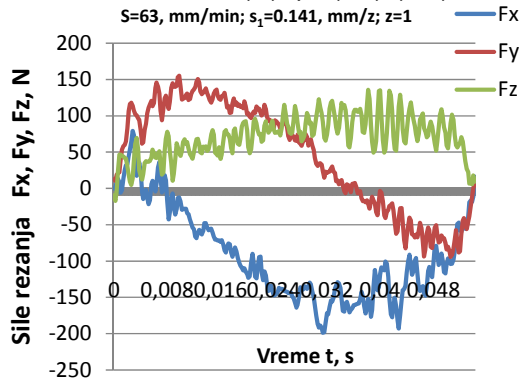
Režim obrde br 12. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

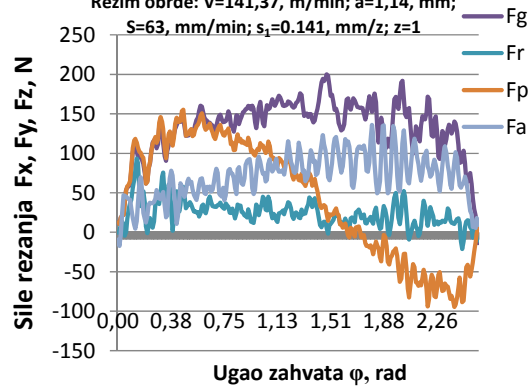


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



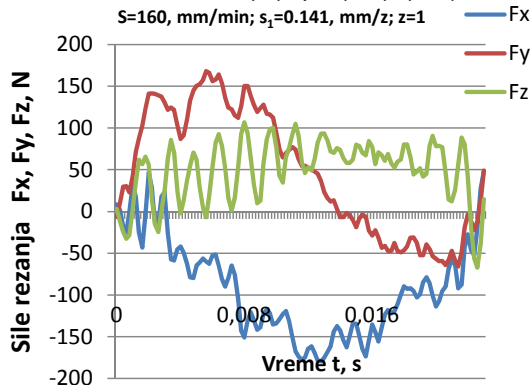
Režim obrde br 13. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

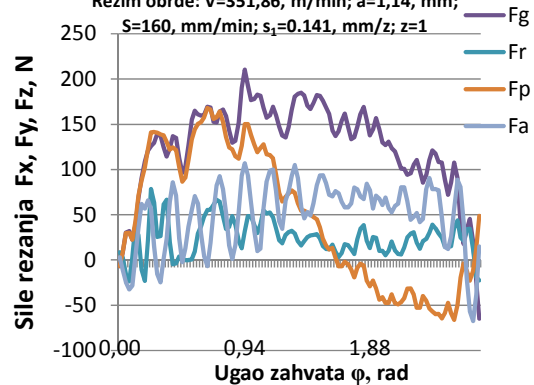


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



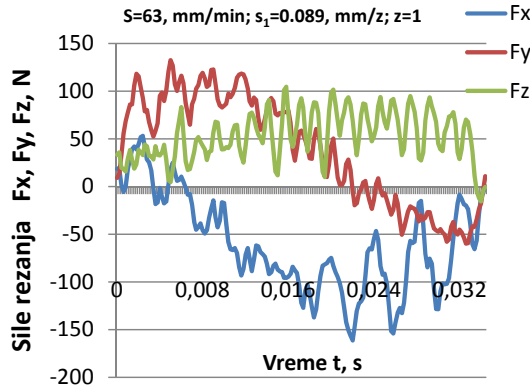
Režim obrde br 14. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.089$, mm/z; $z=1$

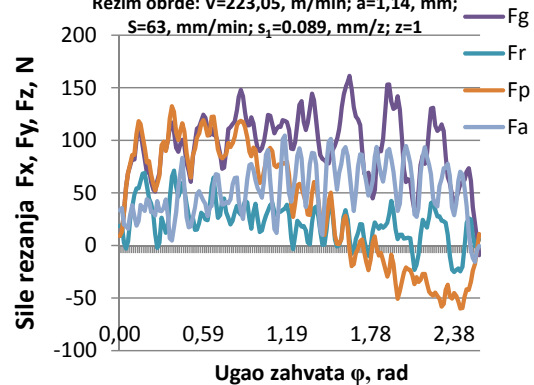


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.089$, mm/z; $z=1$



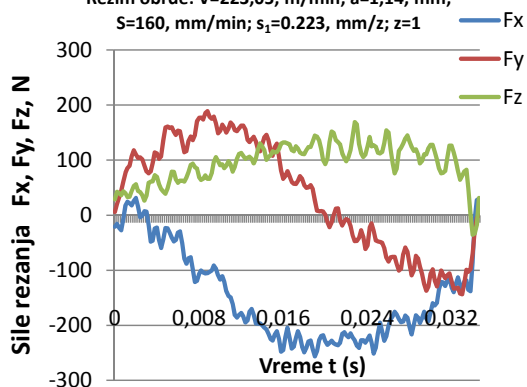
Režim obrde br 15. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$

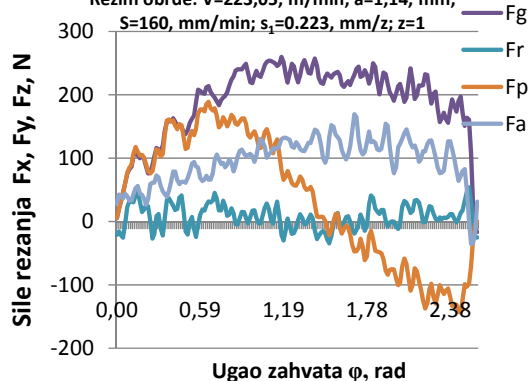


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$



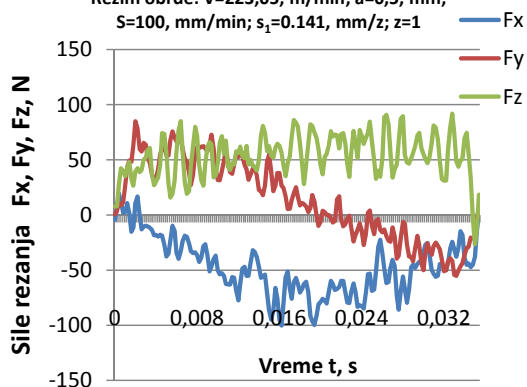
Režim obrde br 16. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

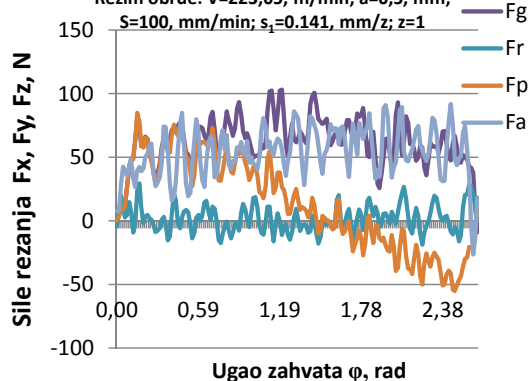


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



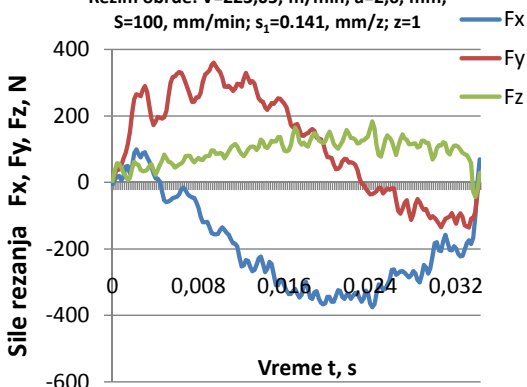
Režim obrde br 17. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

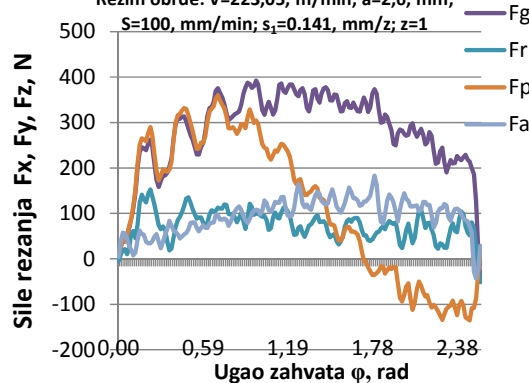


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



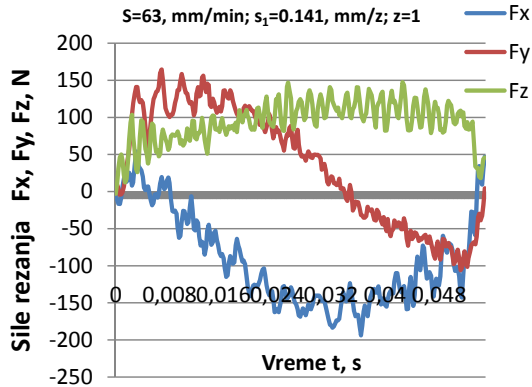
Režim obrde br 18. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

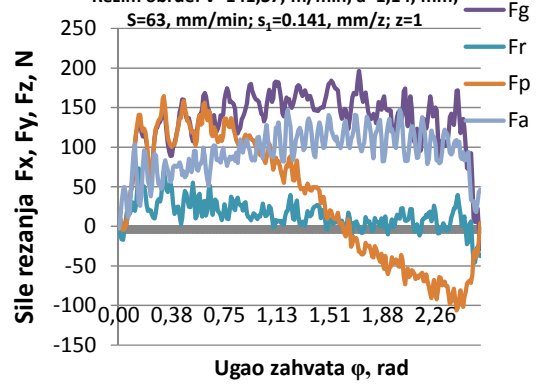


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



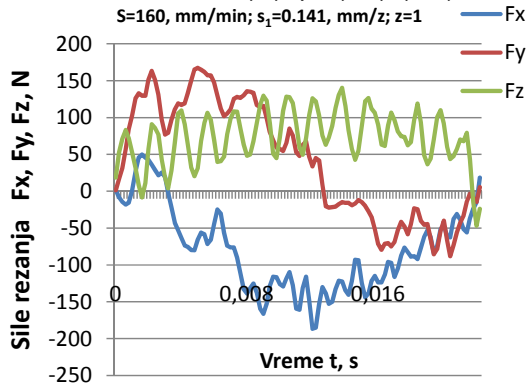
Režim obrde br 19. MO. AI7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

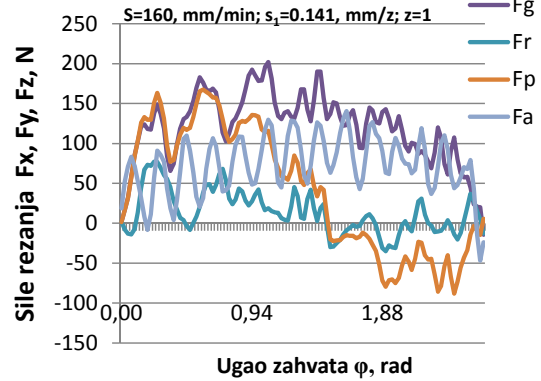


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



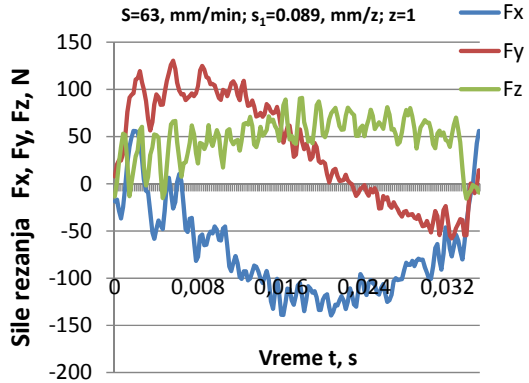
Režim obrde br 20. MO. AI7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.089$, mm/z; $z=1$

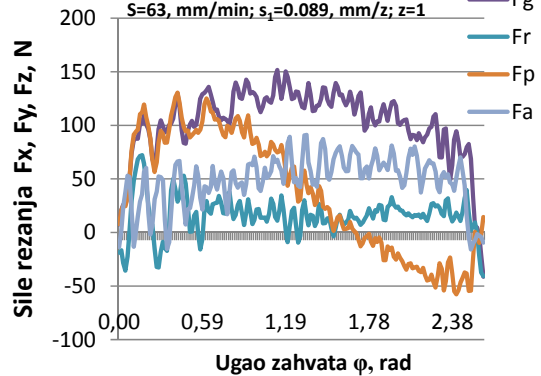


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.089$, mm/z; $z=1$



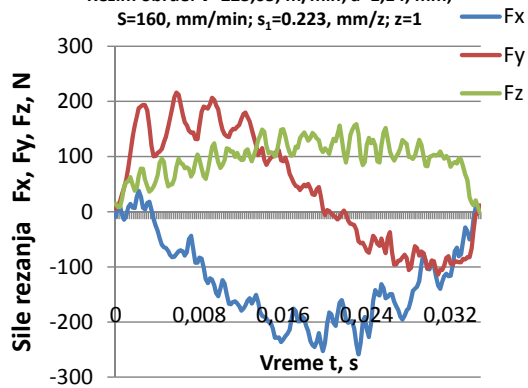
Režim obrde br 21. MO. AI7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$

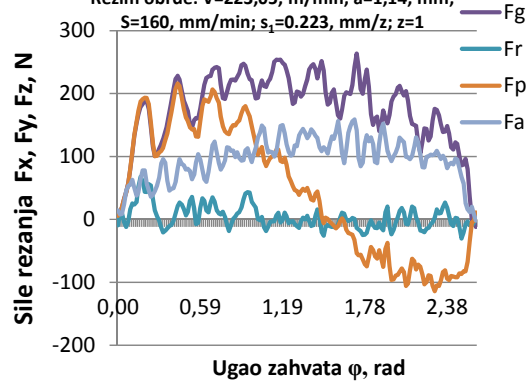


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$



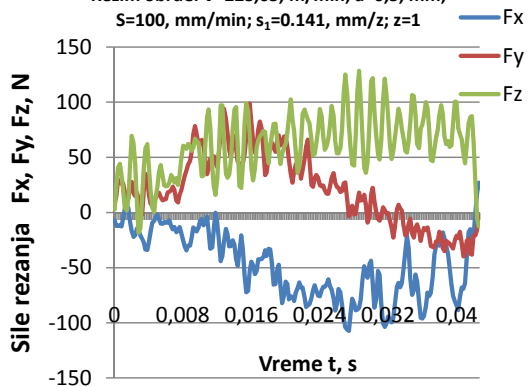
Režim obrde br 22. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

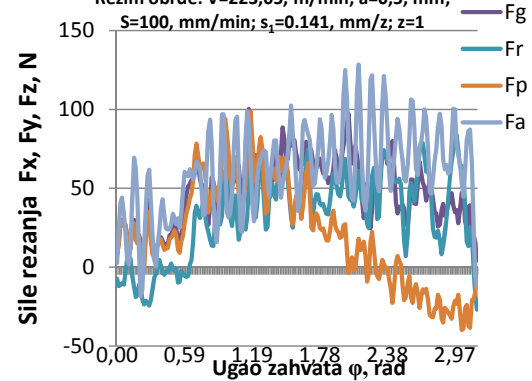


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



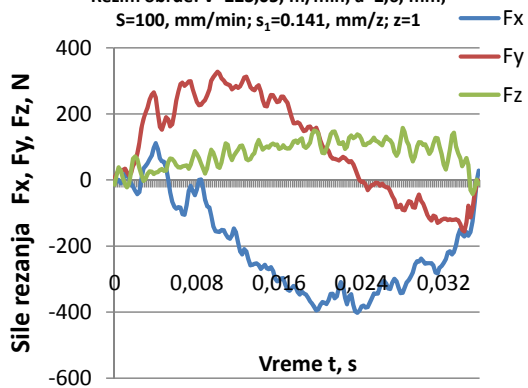
Režim obrde br 23. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

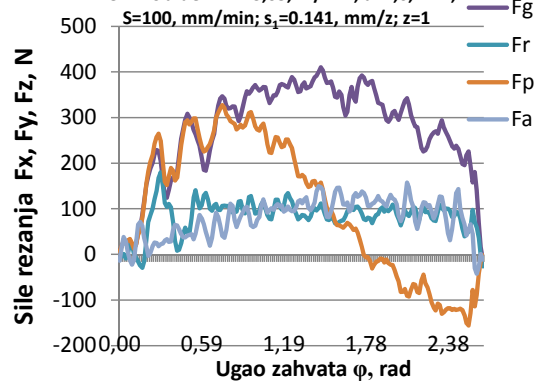


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



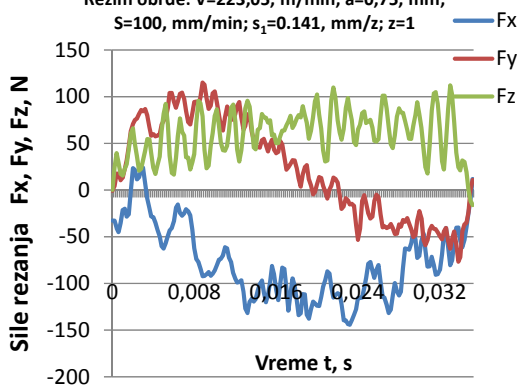
Režim obrde br 24. MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

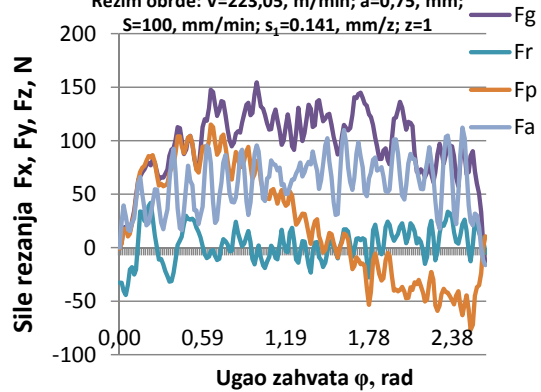


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



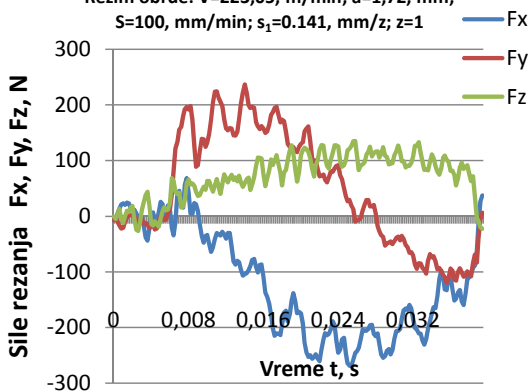
Režim obrade br 1.dodatni, MO. AI7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

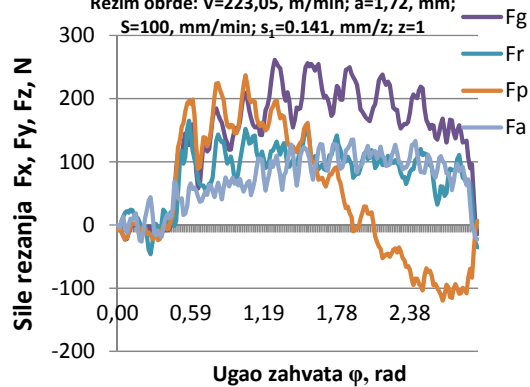


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



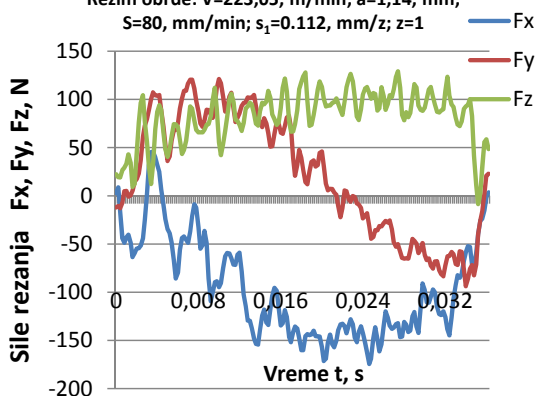
Režim obrade br 2.dodatni, MO. AI7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=80$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$

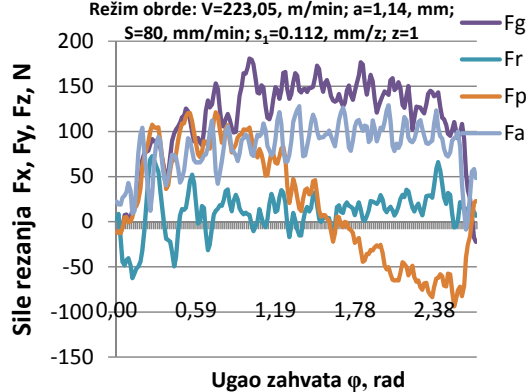


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=80$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$



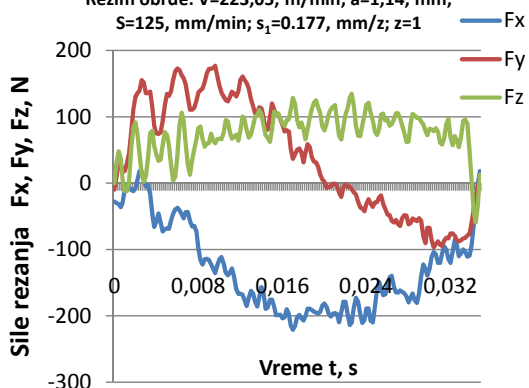
Režim obrade br 3.dodatni, MO. AI7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=125$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$

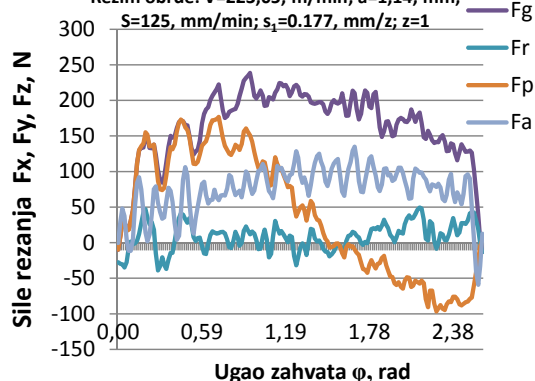


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=125$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$



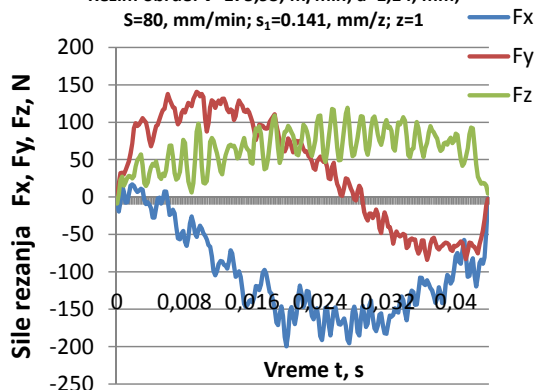
Režim obrade br 4.dodatni, MO. AI7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=80$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

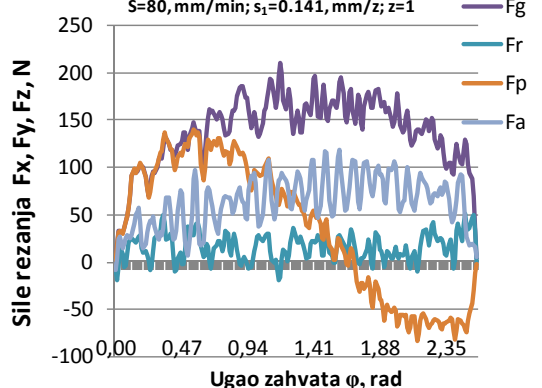


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=80$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



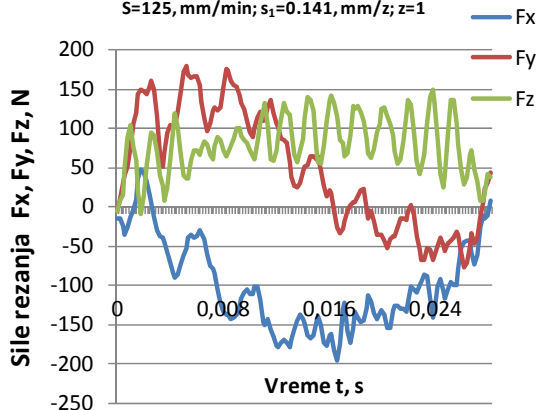
Režim obrade br 5.dodatni, MO. AI7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=125$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

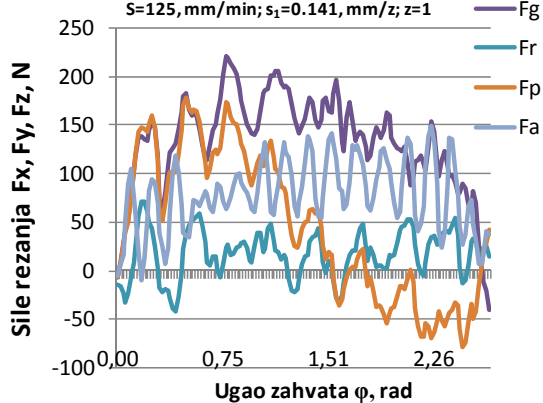


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: AI 7075-KL

Režim obrde: $V=282,74$ m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=125$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



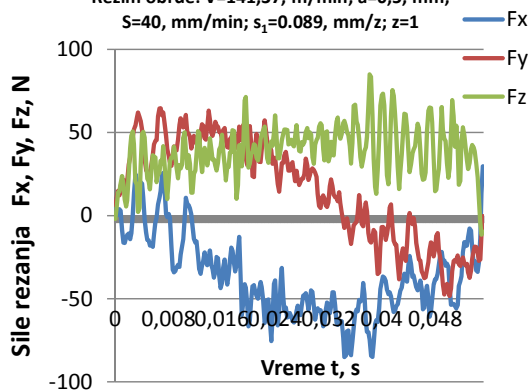
Režim obrade br 6.dodatni, MO. AI7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=40$, mm/min; $s_1=0,089$, mm/z; $z=1$

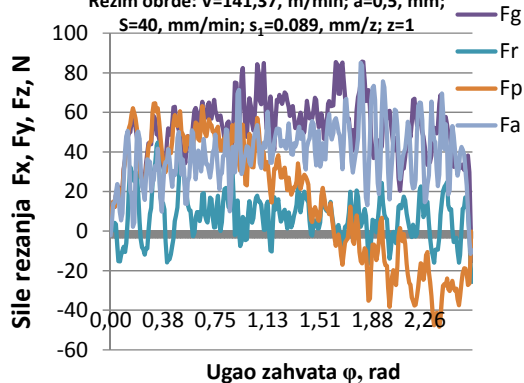


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=40$, mm/min; $s_1=0,089$, mm/z; $z=1$



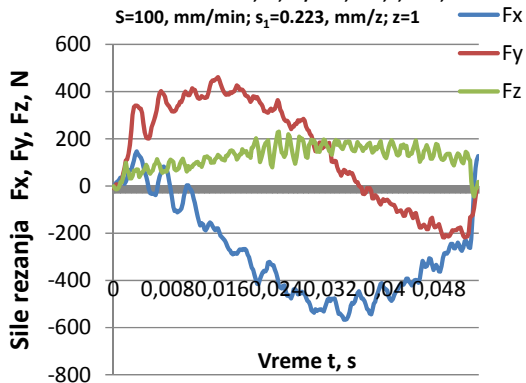
Režim obrade br 1. Tagučijev plan, MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$

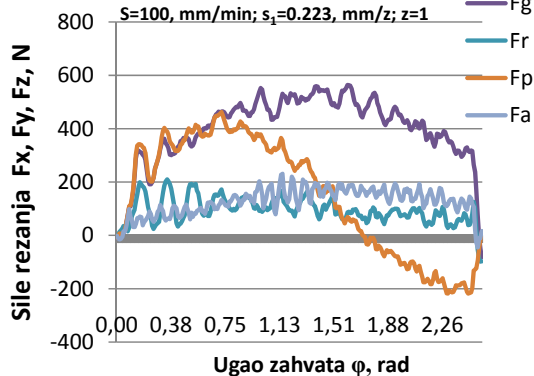


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$



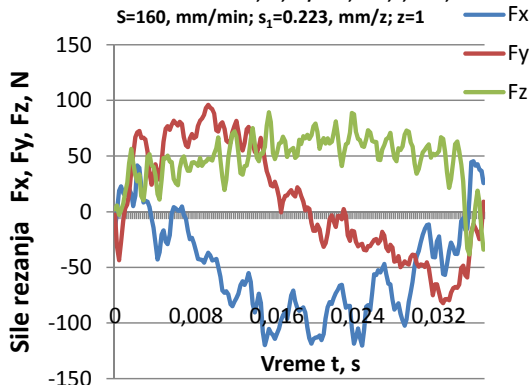
Režim obrade br 3. Tagučijev plan, MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$

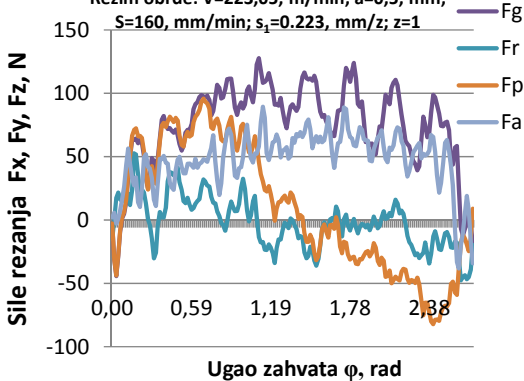


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$



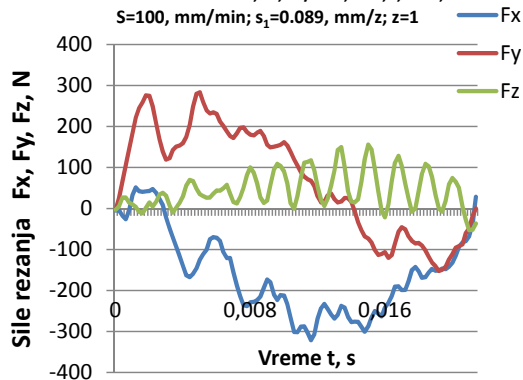
Režim obrade br 6. Tagučijev plan, MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,089$, mm/z; $z=1$

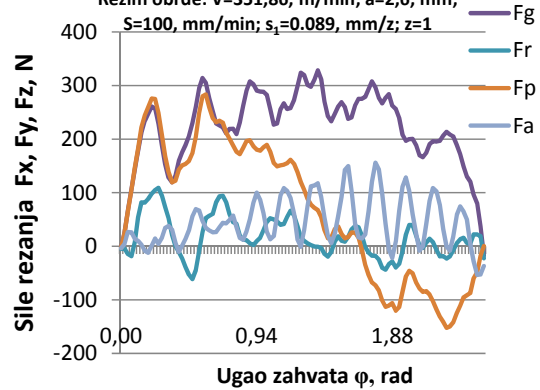


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,089$, mm/z; $z=1$



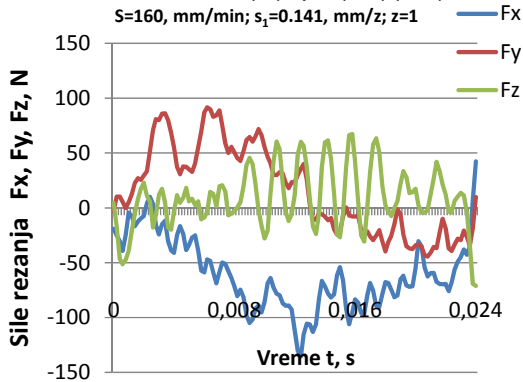
Režim obrade br 7.Tagučijev plan, MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

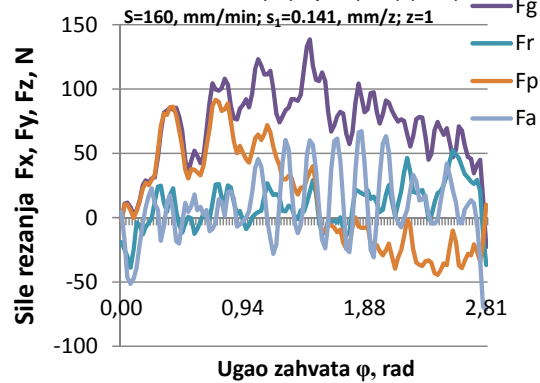


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



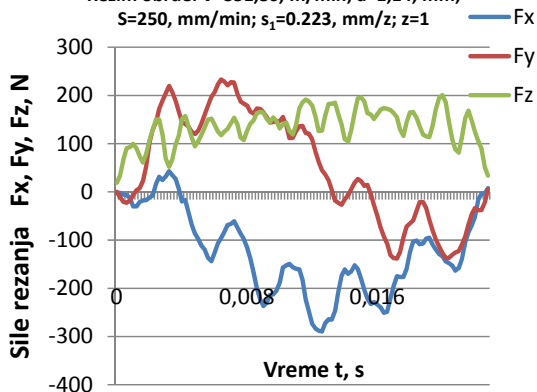
Režim obrade br 8.Tagučijev plan, MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=250$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$

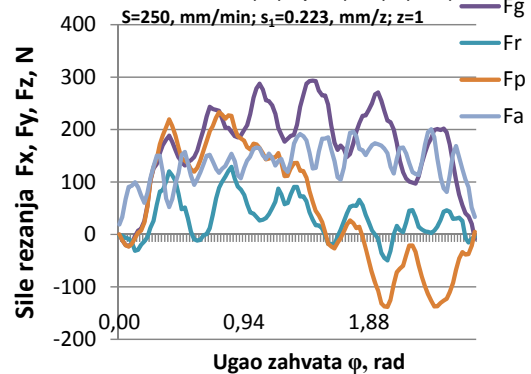


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-KL

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=250$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$



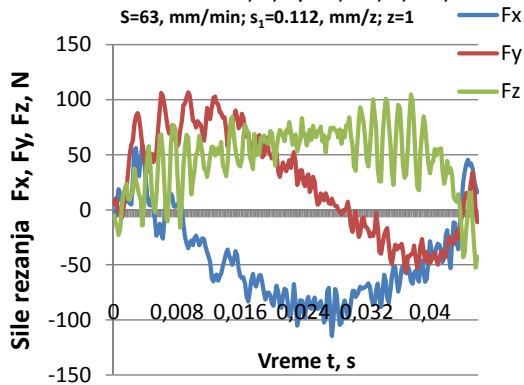
Režim obrade br 9.Tagučijev plan, MO. Al7075-KL

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$

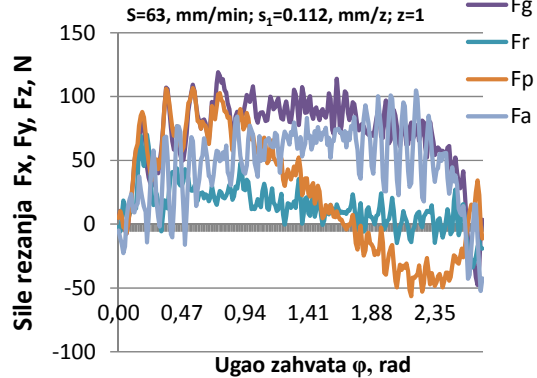


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$



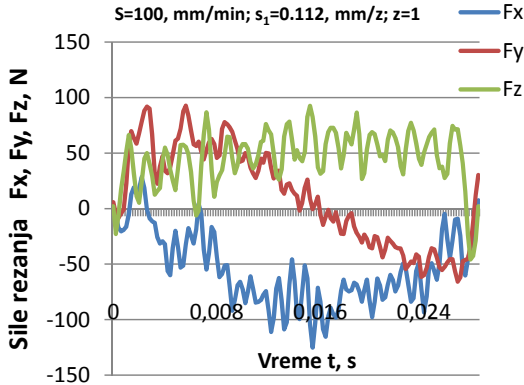
Režim obrde br 1. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$

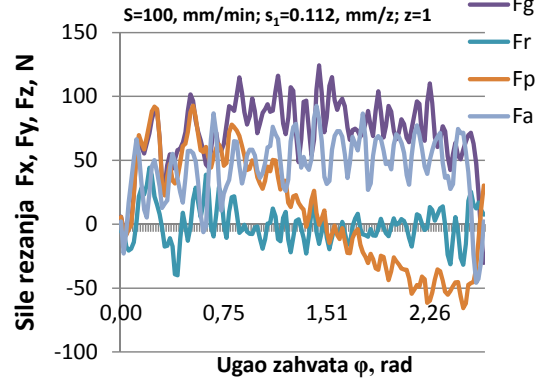


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$



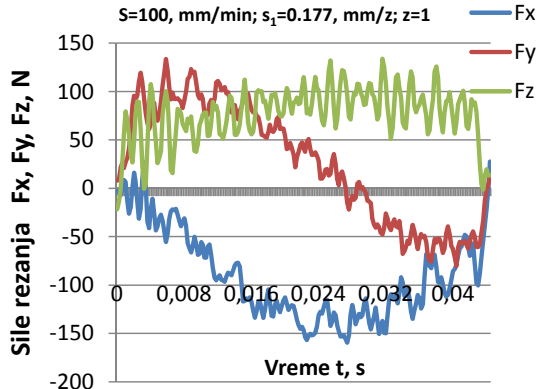
Režim obrde br 2. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$

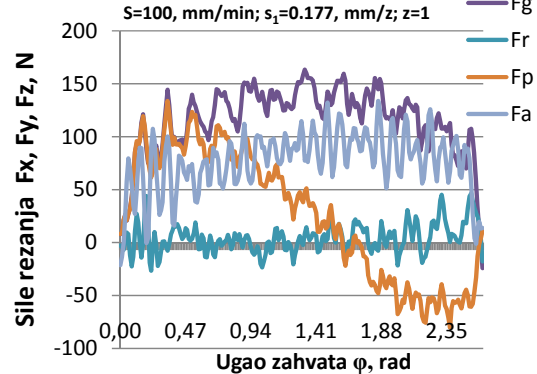


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$



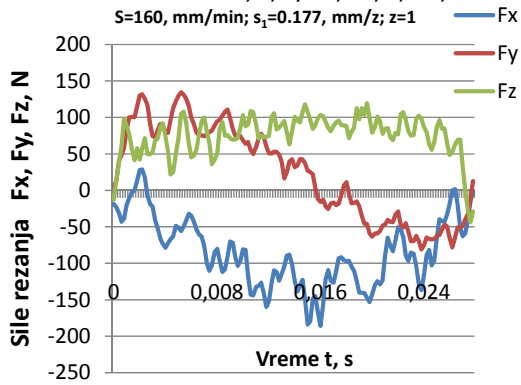
Režim obrde br 3. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$

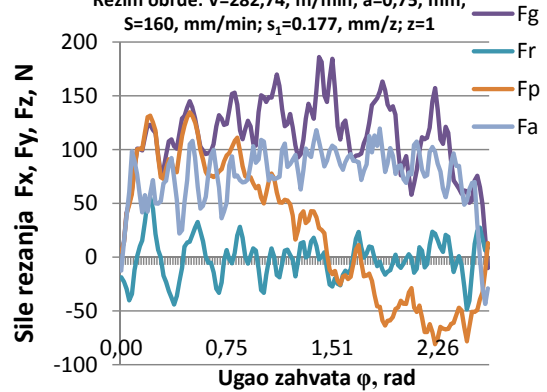


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$



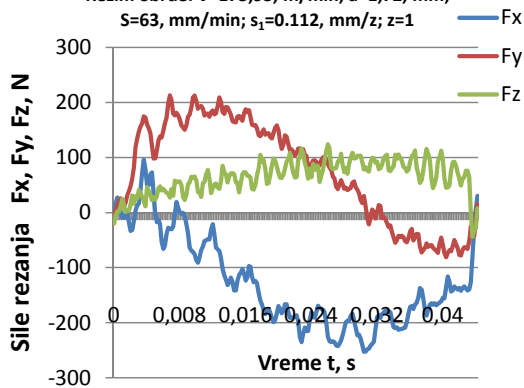
Režim obrde br 4. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$

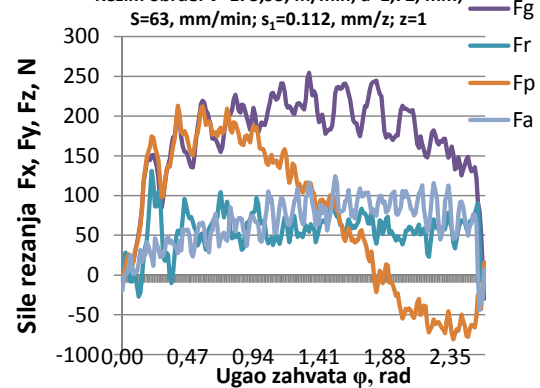


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$



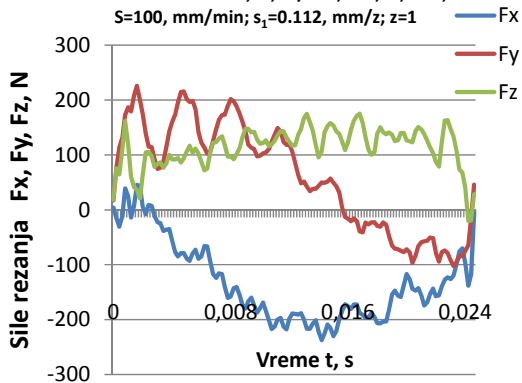
Režim obrde br 5. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$

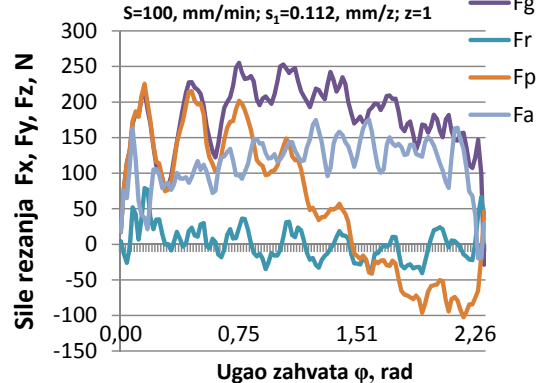


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

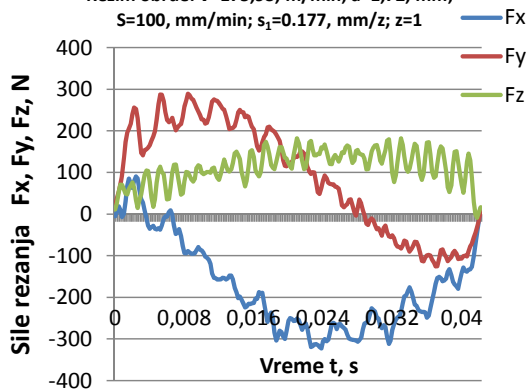
Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$



Režim obrde br 6. MO. Al7075-SSM

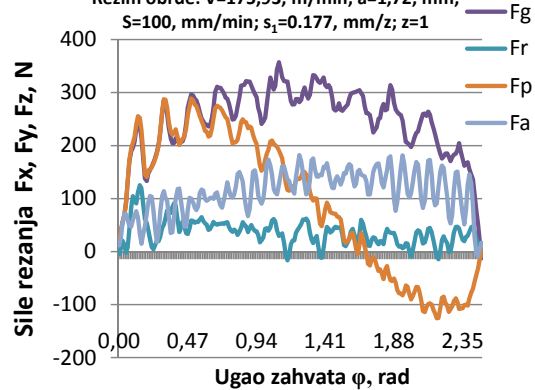
Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM
Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$



Komp. rezultujuće sile rezanja

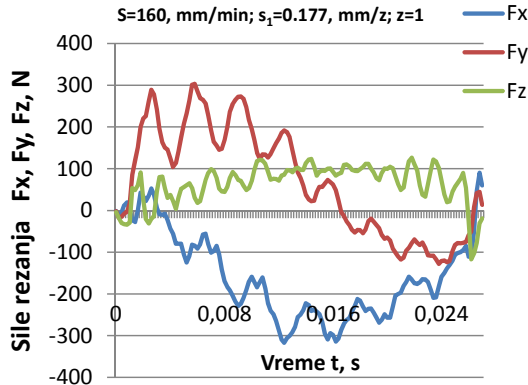
Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM
Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$



Režim obrde br 7. MO. Al7075-SSM

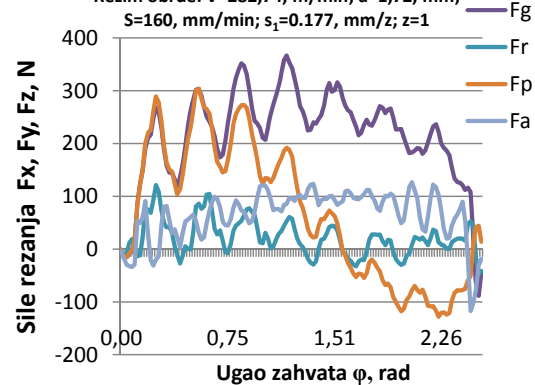
Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM
Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$



Komp. rezultujuće sile rezanja

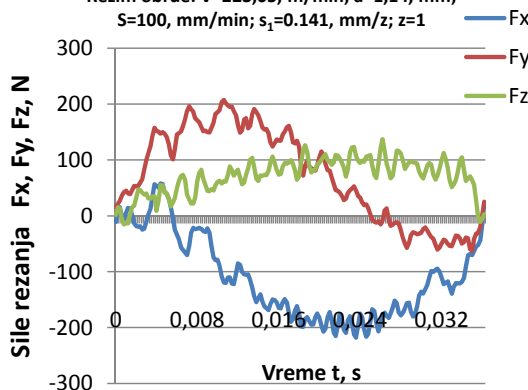
Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM
Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$



Režim obrde br 8. MO. Al7075-SSM

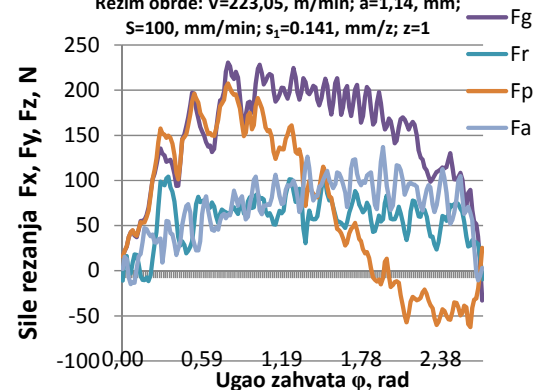
Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM
Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM
Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



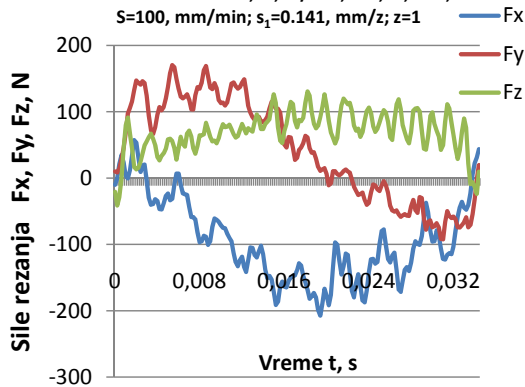
Režim obrde br 9. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

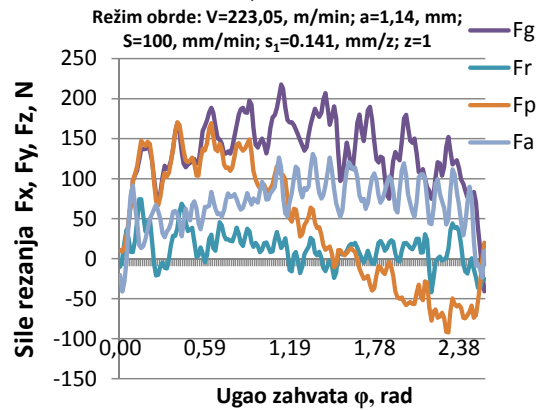


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



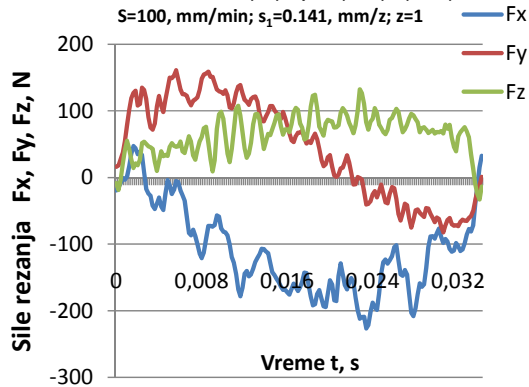
Režim obrade br 10. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

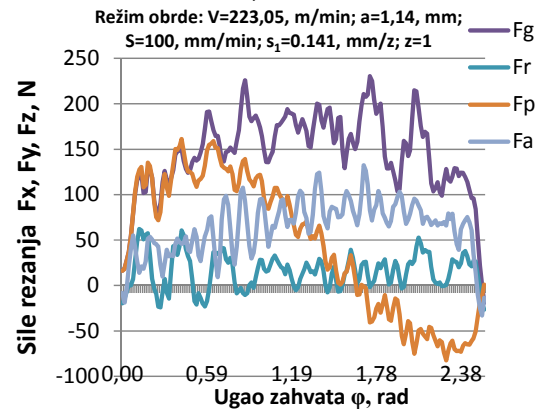


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



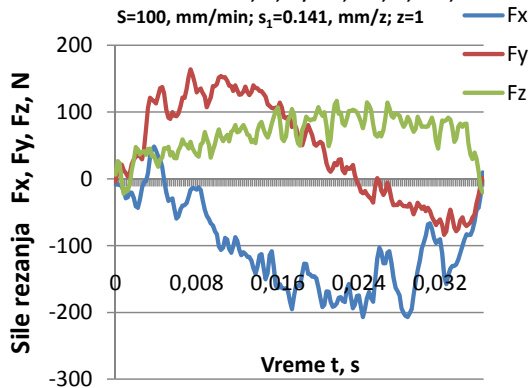
Režim obrade br 11. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

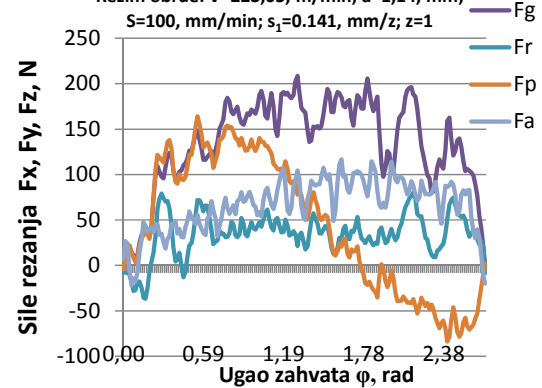


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



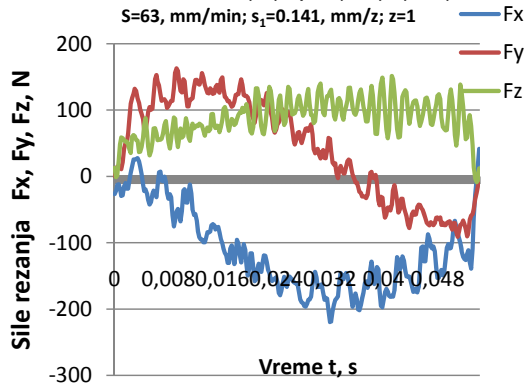
Režim obrade br 12. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

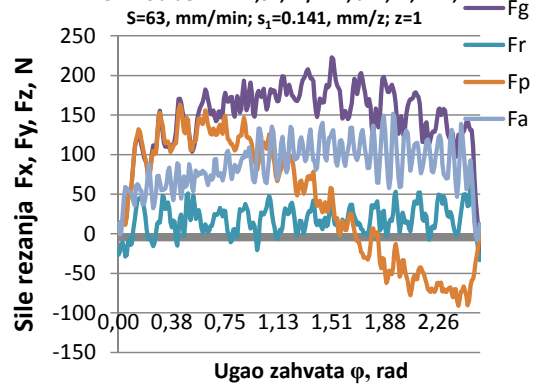


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



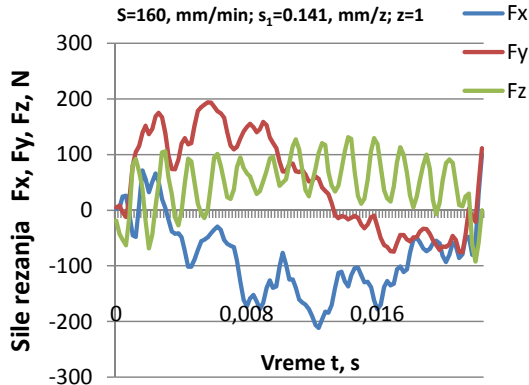
Režim obrade br 13. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

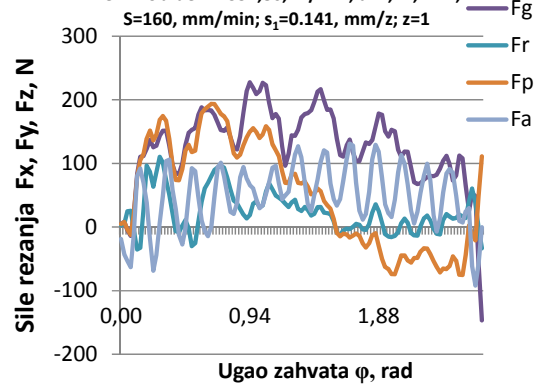


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



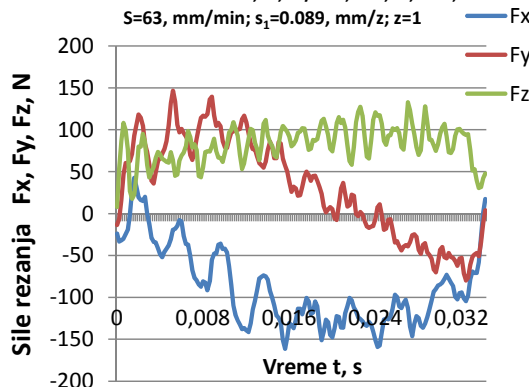
Režim obrade br 14. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.089$, mm/z; $z=1$

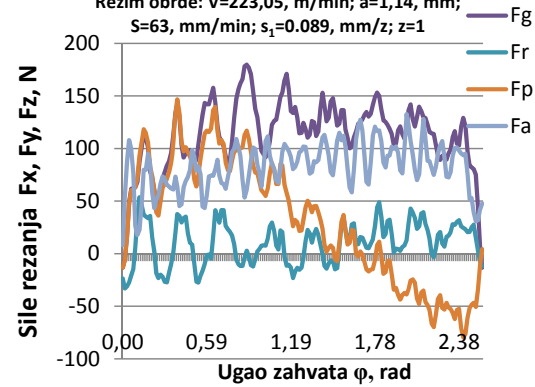


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.089$, mm/z; $z=1$



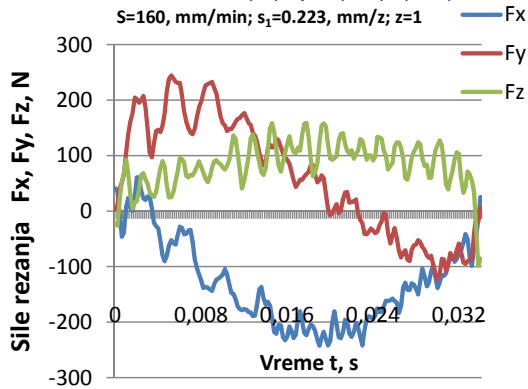
Režim obrade br 15. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$

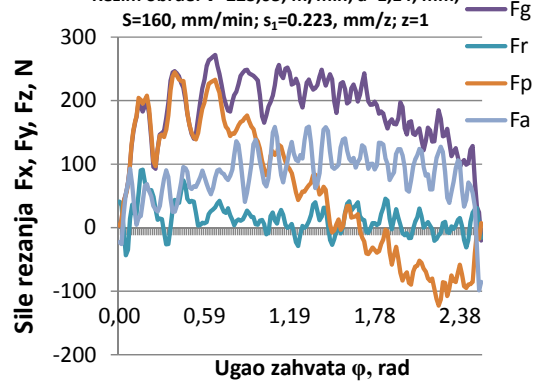


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$



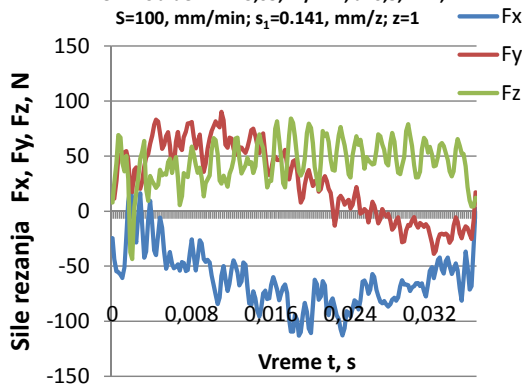
Režim obrade br 16. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

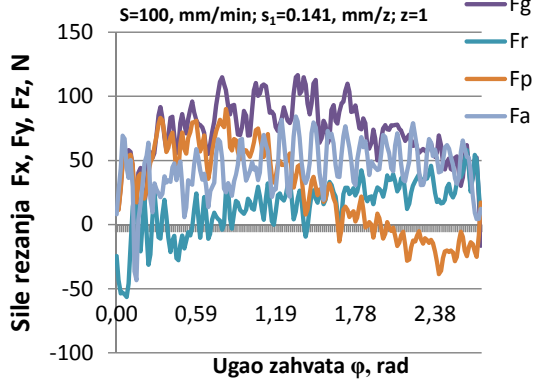


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



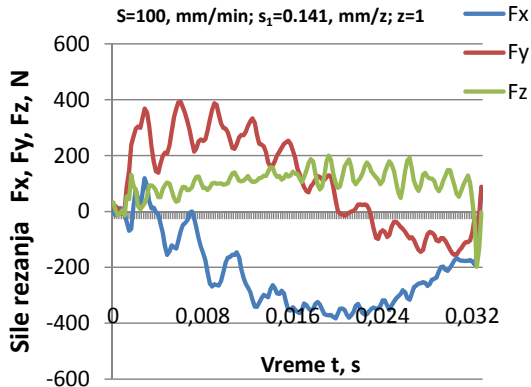
Režim obrade br 17. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

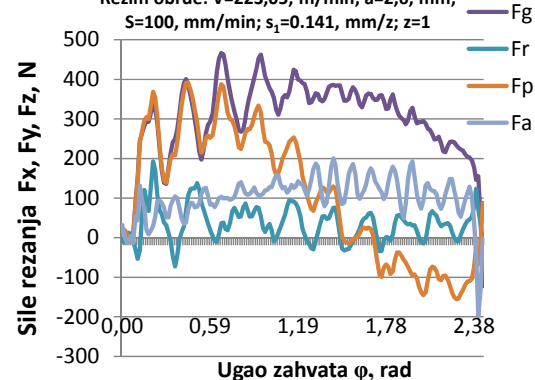


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

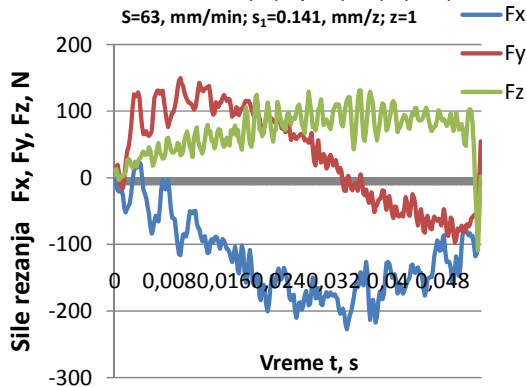
Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



Režim obrade br 18. MO. Al7075-SSM

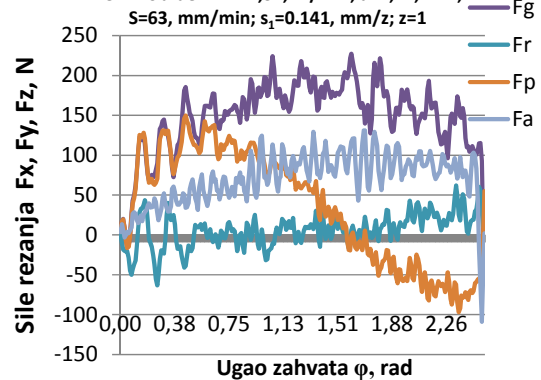
Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM
Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



Komp. rezultujuće sile rezanja

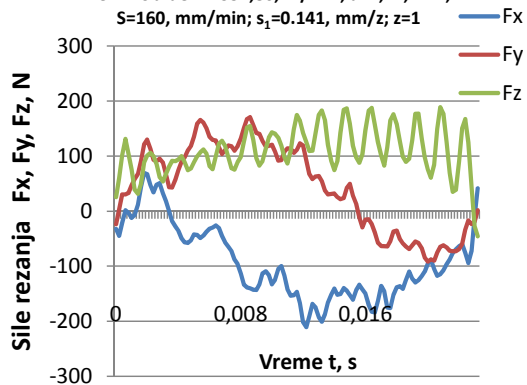
Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM
Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



Režim obrade br 19. MO. Al7075-SSM

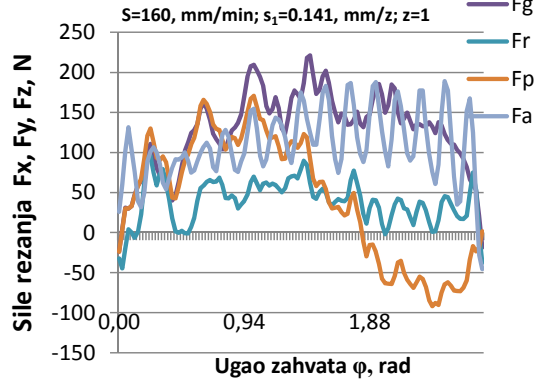
Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM
Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



Komp. rezultujuće sile rezanja

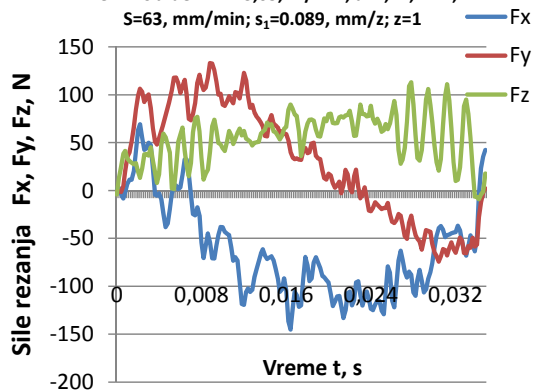
Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM
Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



Režim obrade br 20. MO. Al7075-SSM

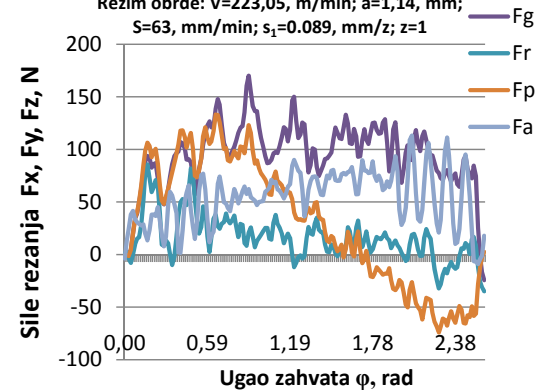
Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM
Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.089$, mm/z; $z=1$



Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM
Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=63$, mm/min; $s_1=0.089$, mm/z; $z=1$



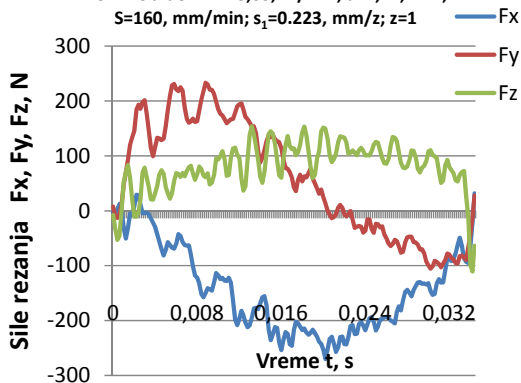
Režim obrade br 21. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0.223$, mm/z; $z=1$

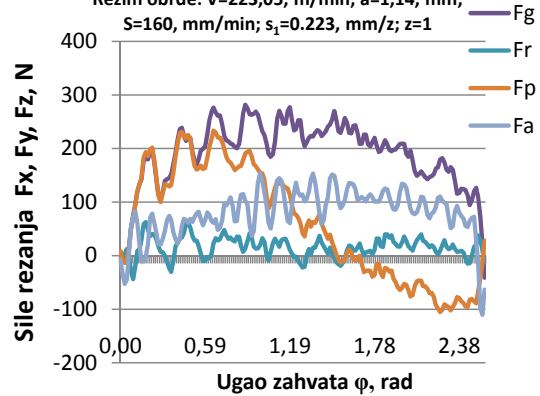


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0.223$, mm/z; $z=1$



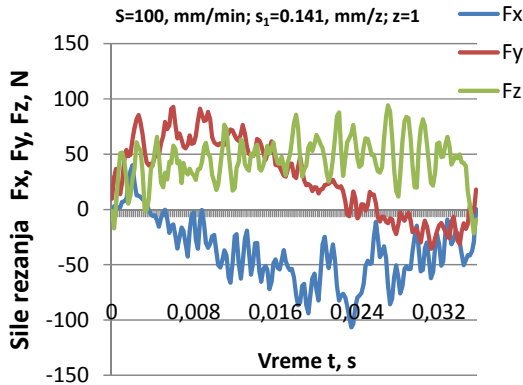
Režim obrade br 22. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

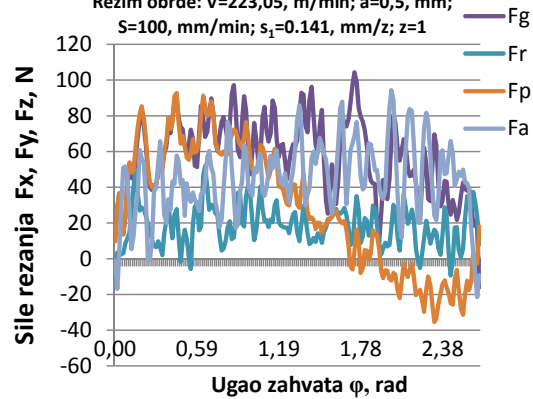


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



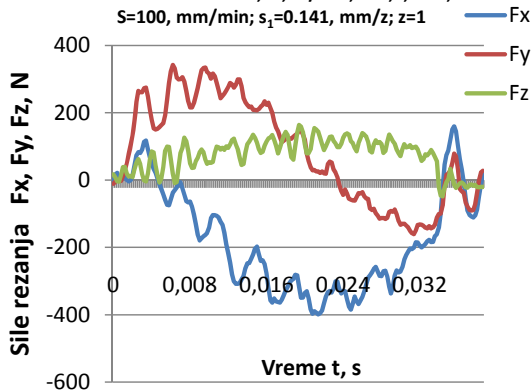
Režim obrade br 23. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$

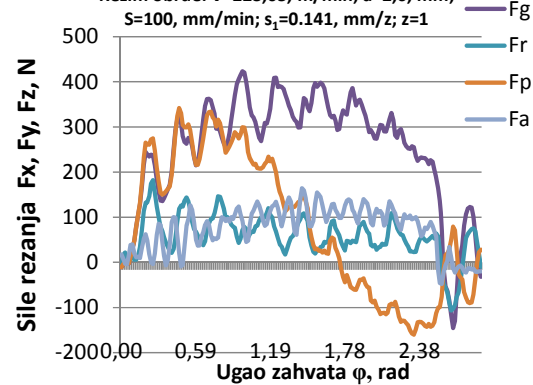


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.141$, mm/z; $z=1$



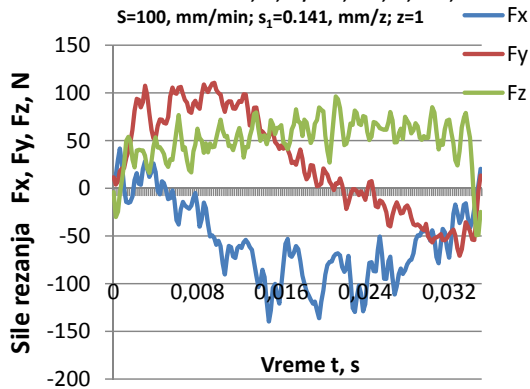
Režim obrade br 24. MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

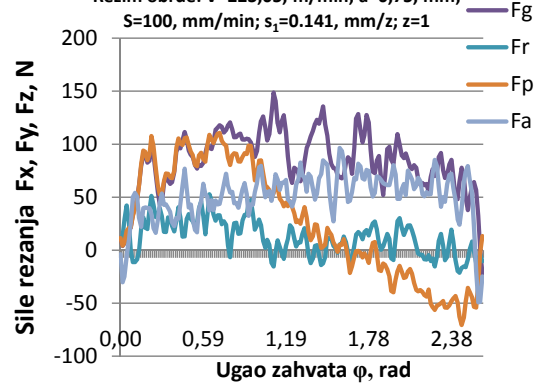


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,75$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



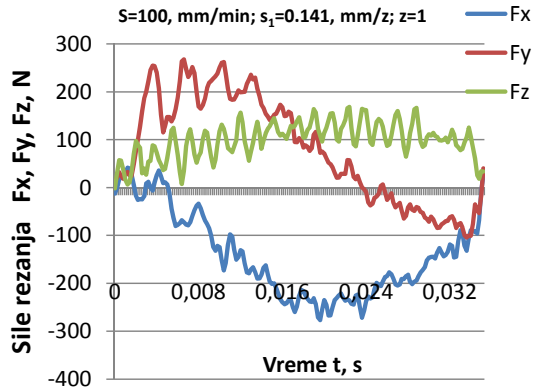
Režim obrade br 1.dodatni, MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

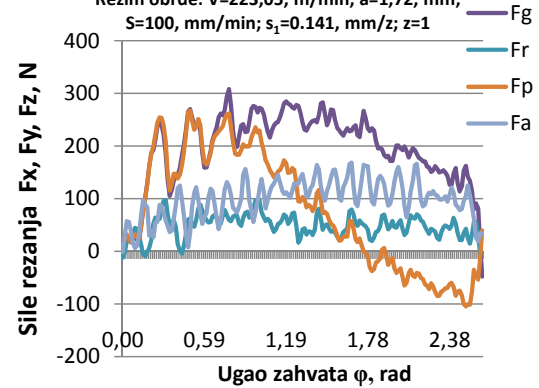


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,72$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



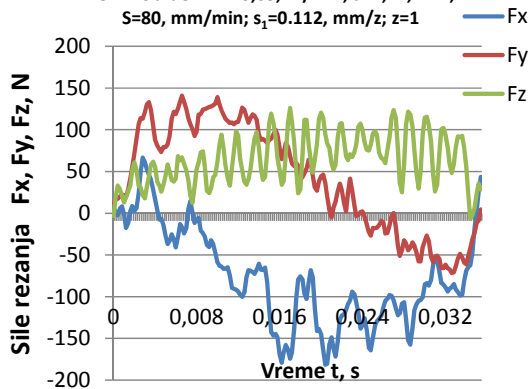
Režim obrade br 2.dodatni, MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=80$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$

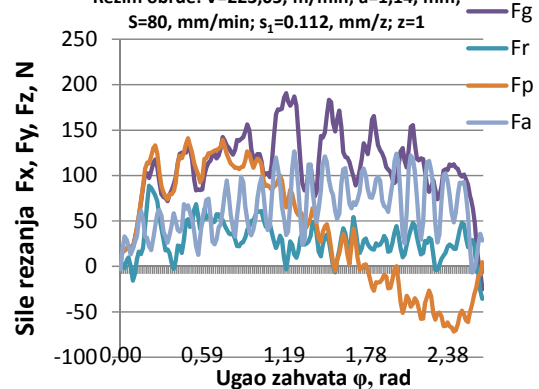


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=80$, mm/min; $s_1=0,112$, mm/z; $z=1$



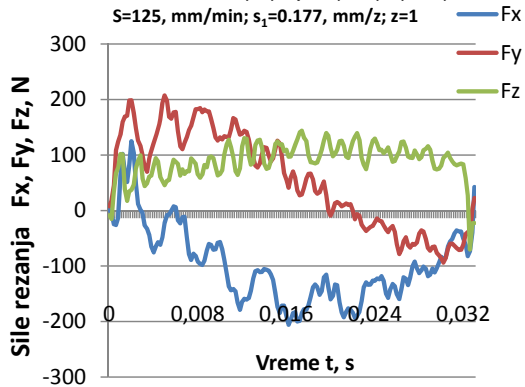
Režim obrade br 3.dodatni, MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=125$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$

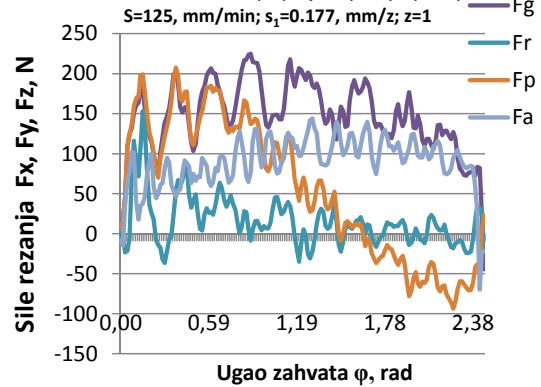


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=125$, mm/min; $s_1=0,177$, mm/z; $z=1$



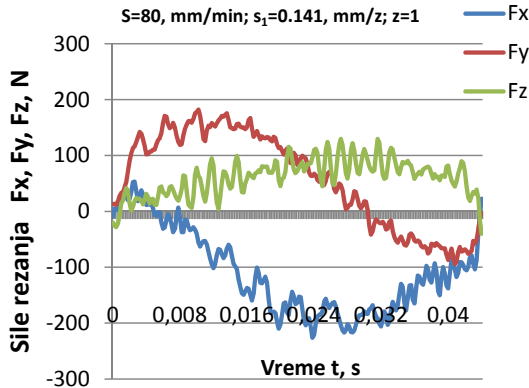
Režim obrade br 4.dodatni, MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=80$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

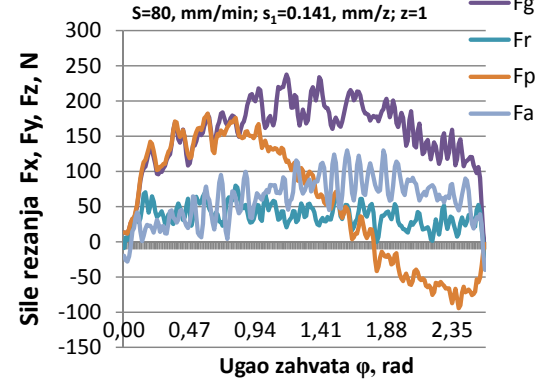


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=175,93$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=80$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



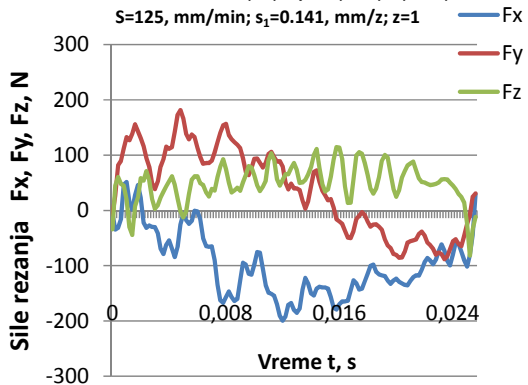
Režim obrade br 5.dodatni, MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=125$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

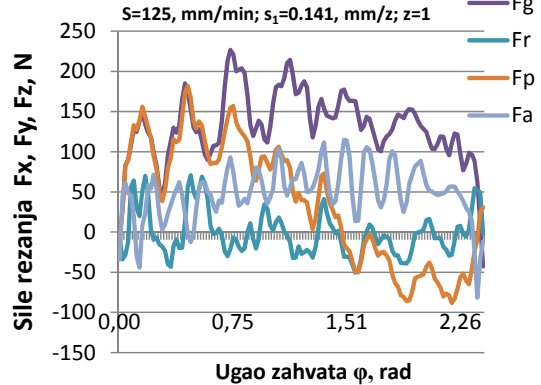


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=282,74$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=125$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



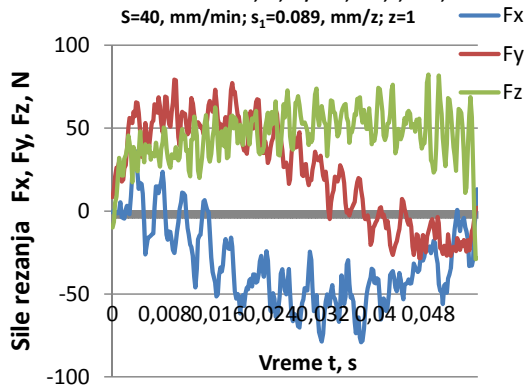
Režim obrade br 6.dodatni, MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=40$, mm/min; $s_1=0.089$, mm/z; $z=1$

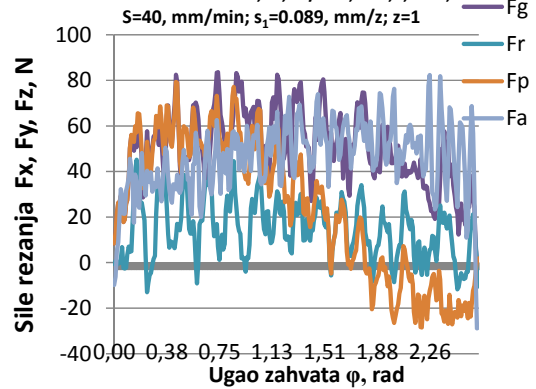


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=40$, mm/min; $s_1=0.089$, mm/z; $z=1$



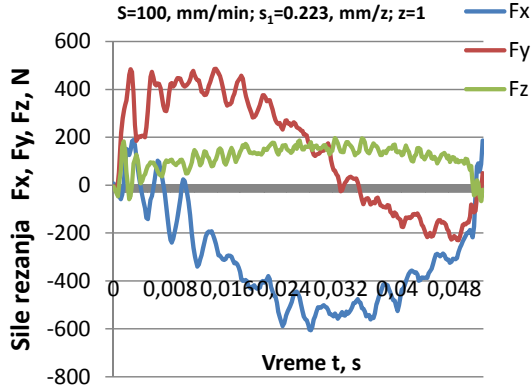
Režim obrade br 1. Tagučijev plan, MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.223$, mm/z; $z=1$

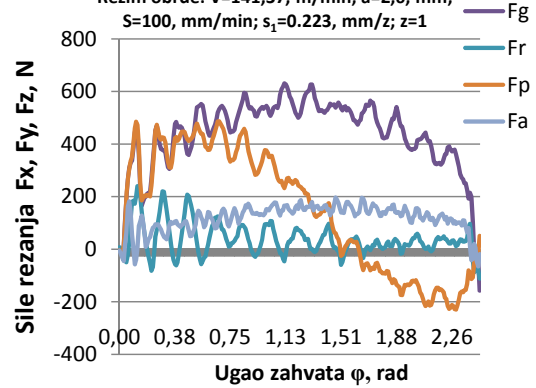


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=141,37$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0.223$, mm/z; $z=1$



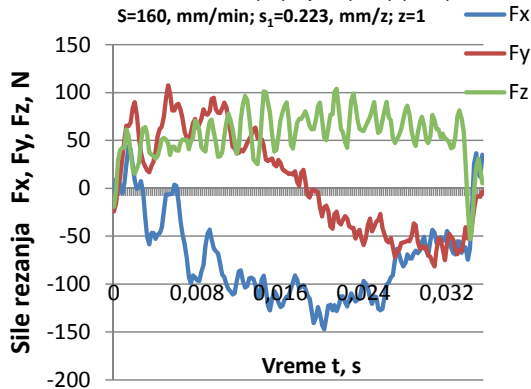
Režim obrade br 3. Tagučijev plan, MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0.223$, mm/z; $z=1$

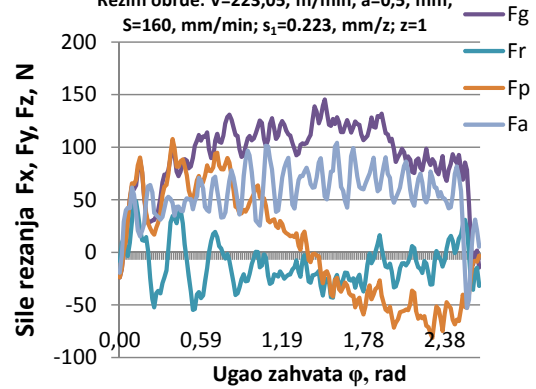


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=223,05$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0.223$, mm/z; $z=1$



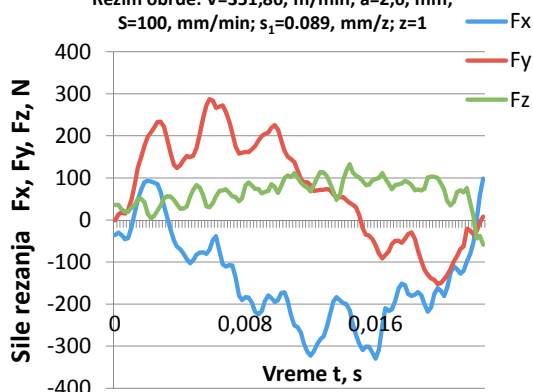
Režim obrade br 6. Tagučijev plan, MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,089$, mm/z; $z=1$

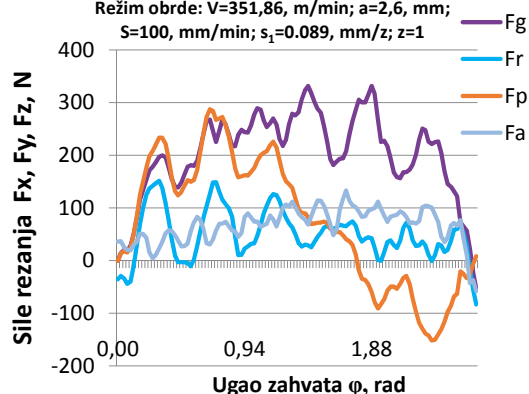


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=2,6$, mm;
 $S=100$, mm/min; $s_1=0,089$, mm/z; $z=1$



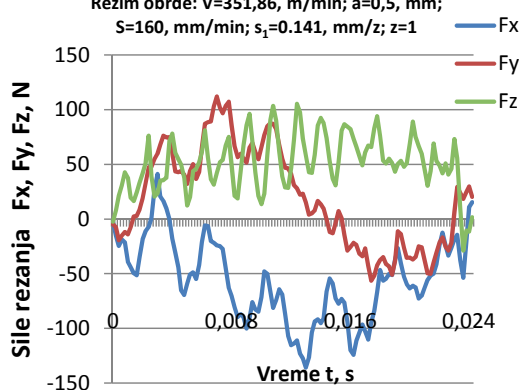
Režim obrade br 7. Tagučijev plan, MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$

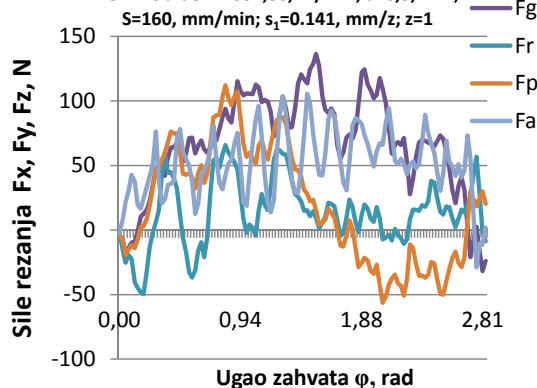


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=0,5$, mm;
 $S=160$, mm/min; $s_1=0,141$, mm/z; $z=1$



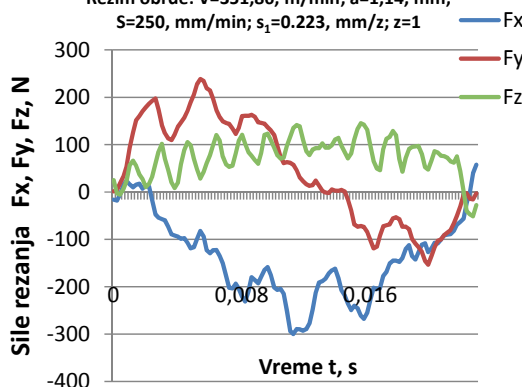
Režim obrade br 8. Tagučijev plan, MO. Al7075-SSM

Ortogonalne sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=250$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$

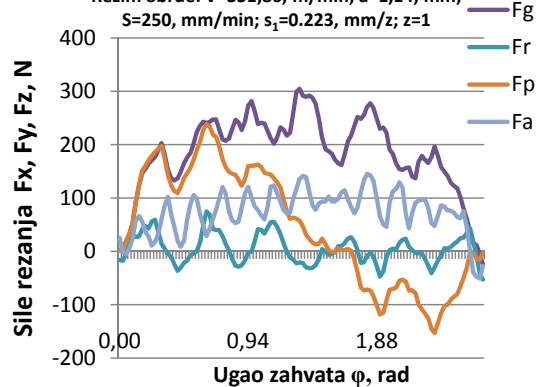


Komp. rezultujuće sile rezanja

Alat: glava za glodanje ϕ 100, mm
($\kappa=79^\circ$, $\gamma=0^\circ$)

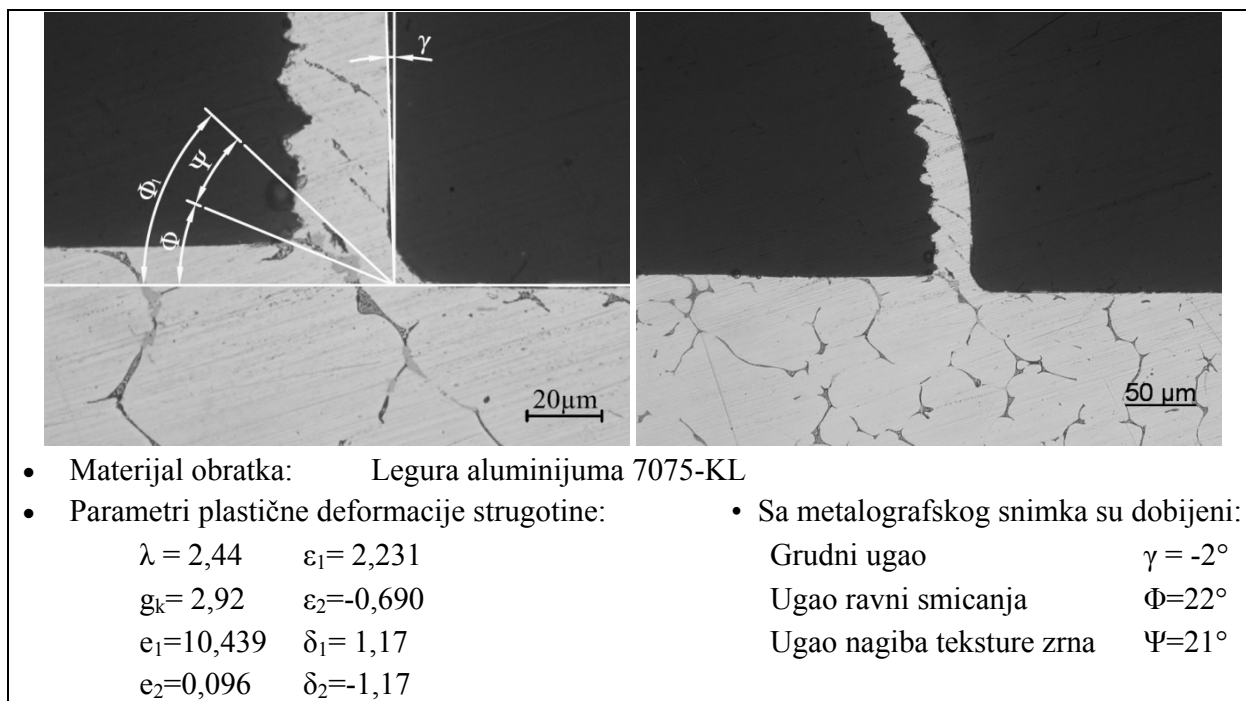
MA: TM K20, MO: Al 7075-SSM

Režim obrde: $V=351,86$, m/min; $a=1,14$, mm;
 $S=250$, mm/min; $s_1=0,223$, mm/z; $z=1$

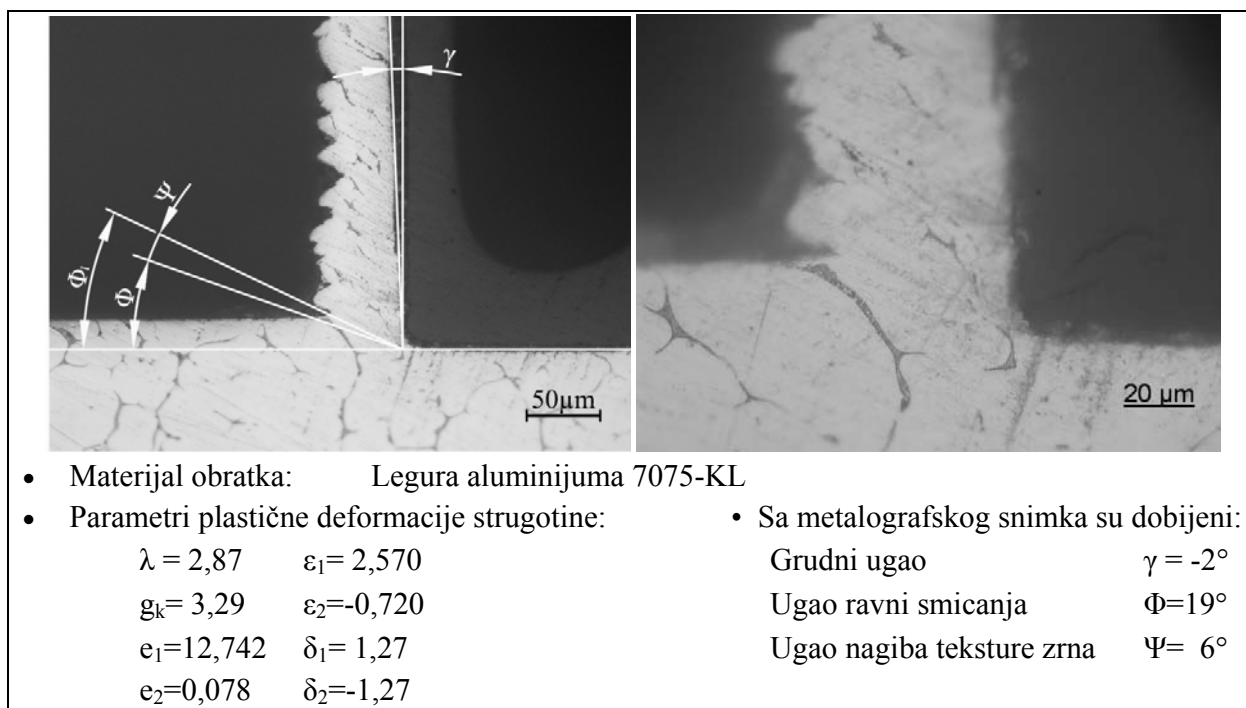


Režim obrade br 9. Tagučijev plan, MO. Al7075-SSM

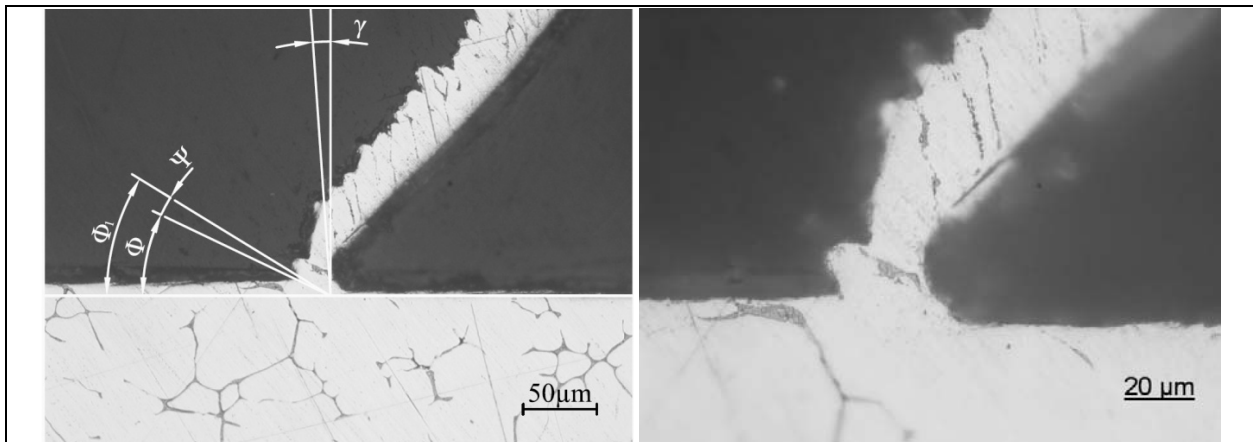
PRILOG 2. Mikroskopski snimci zone razanja kod uzoraka



Sl. 1. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 1.



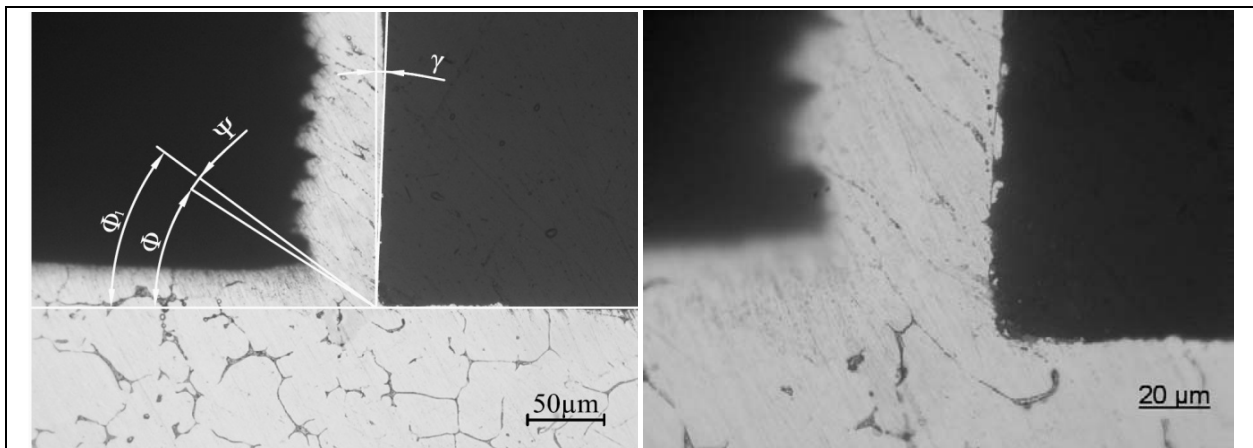
Sl. 2. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 2.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | | |
|------------------|--------------------------|---|---------------------|
| $\lambda = 1,89$ | $\varepsilon_1 = 1,966$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: | |
| $g_k = 2,63$ | $\varepsilon_2 = -0,663$ | Grudni ugao | $\gamma = -4^\circ$ |
| $e_1 = 8,795$ | $\delta_1 = 1,09$ | Ugao ravni smicanja | $\Phi = 26^\circ$ |
| $e_2 = 0,114$ | $\delta_2 = -1,09$ | Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 6^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

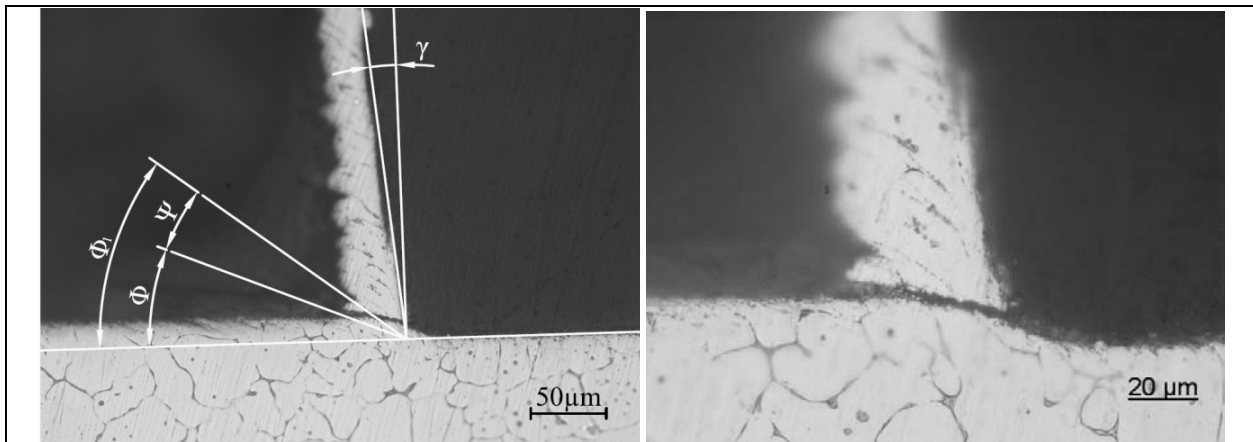
Sl. 3. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 3.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | | |
|------------------|--------------------------|---|--------------------|
| $\lambda = 1,57$ | $\varepsilon_1 = 1,536$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: | |
| $g_k = 2,14$ | $\varepsilon_2 = -0,606$ | Grudni ugao | $\gamma = 2^\circ$ |
| $e_1 = 6,430$ | $\delta_1 = 0,93$ | Ugao ravni smicanja | $\Phi = 33^\circ$ |
| $e_2 = 0,156$ | $\delta_2 = -0,93$ | Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 4^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

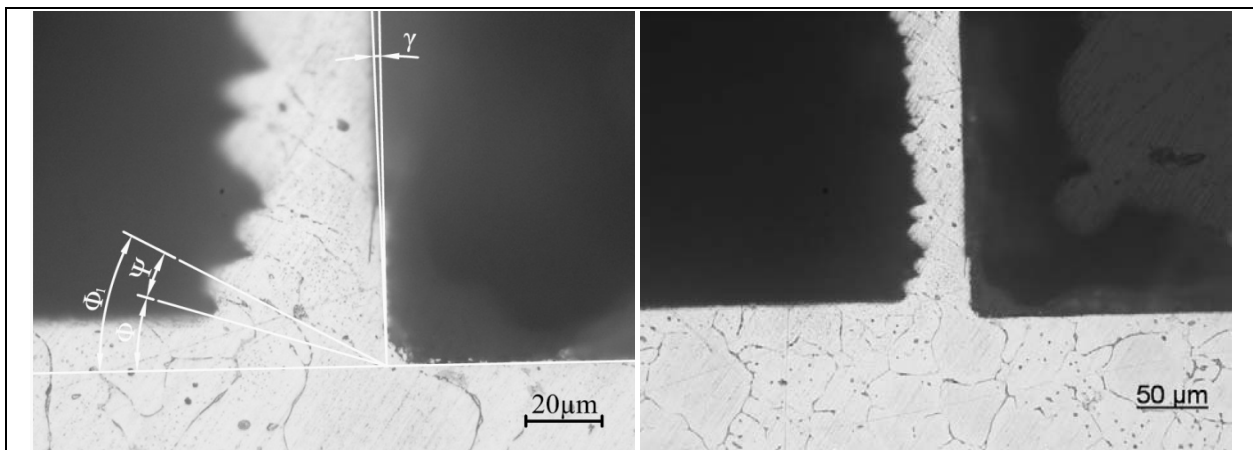
Sl. 4. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 4.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,38$ | $\varepsilon_1 = 2,290$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,99$ | $\varepsilon_2 = -0,696$ | Grudni ugao $\gamma = -5^\circ$ |
| $e_1 = 10,822$ | $\delta_1 = 1,19$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 22^\circ$ |
| $e_2 = 0,092$ | $\delta_2 = -1,19$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 15^\circ$ |

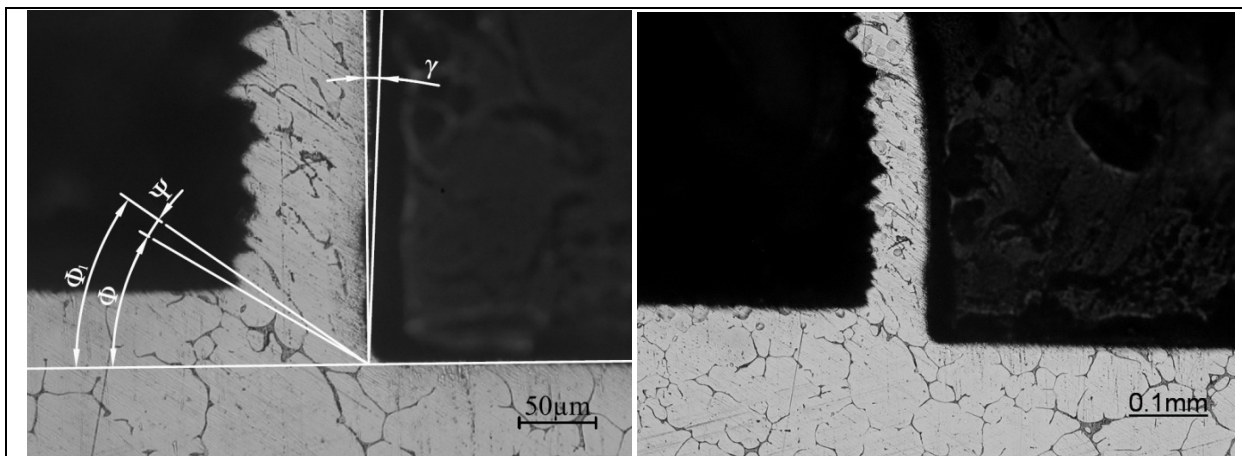
Sl. 5. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 5.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 3,25$ | $\varepsilon_1 = 2,857$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 3,60$ | $\varepsilon_2 = -0,741$ | Grudni ugao $\gamma = -1^\circ$ |
| $e_1 = 14,874$ | $\delta_1 = 1,35$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 17^\circ$ |
| $e_2 = 0,067$ | $\delta_2 = -1,35$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 11^\circ$ |

Sl. 6. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 6.

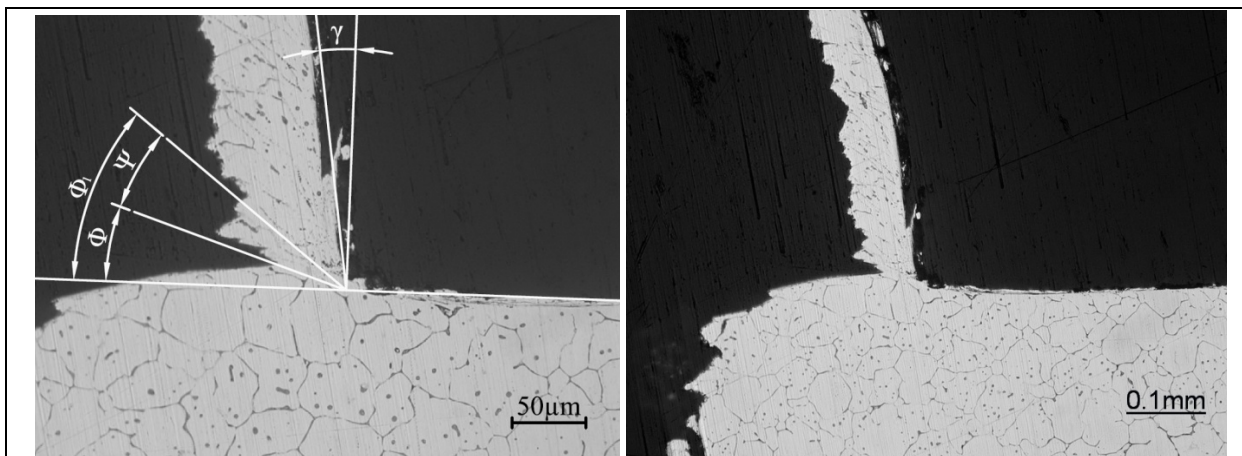


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 1,72$ | $\varepsilon_1 = 1,584$ |
| $g_k = 2,20$ | $\varepsilon_2 = -0,613$ |
| $e_1 = 6,676$ | $\delta_1 = 0,95$ |
| $e_2 = 0,150$ | $\delta_2 = -0,95$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = 3^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 31^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 4^\circ$ |

Sl. 7. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 7.

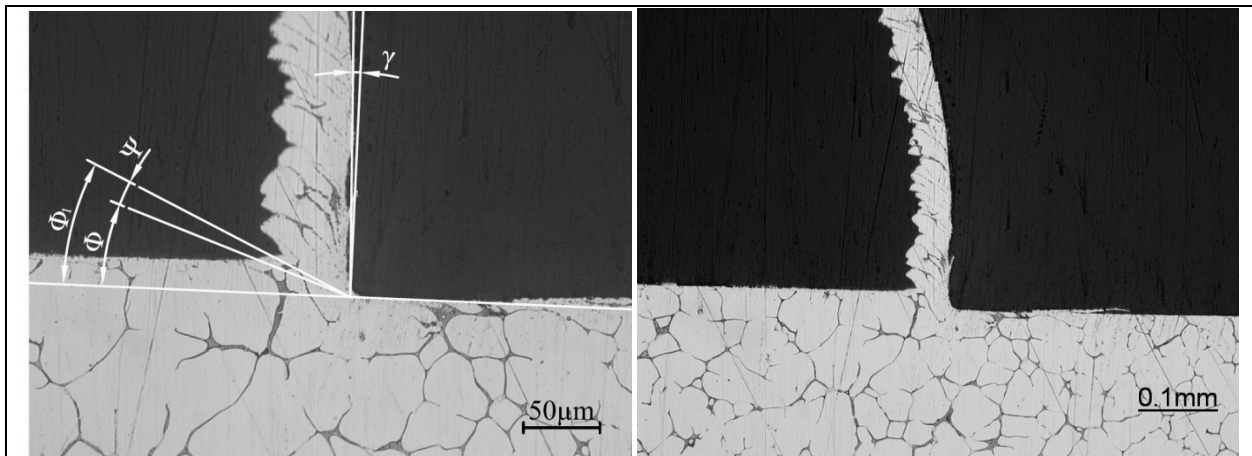


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 2,89$ | $\varepsilon_1 = 2,848$ |
| $g_k = 3,59$ | $\varepsilon_2 = -0,740$ |
| $e_1 = 14,810$ | $\delta_1 = 1,35$ |
| $e_2 = 0,068$ | $\delta_2 = -1,35$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -9^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 18^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 20^\circ$ |

Sl. 8. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 8.

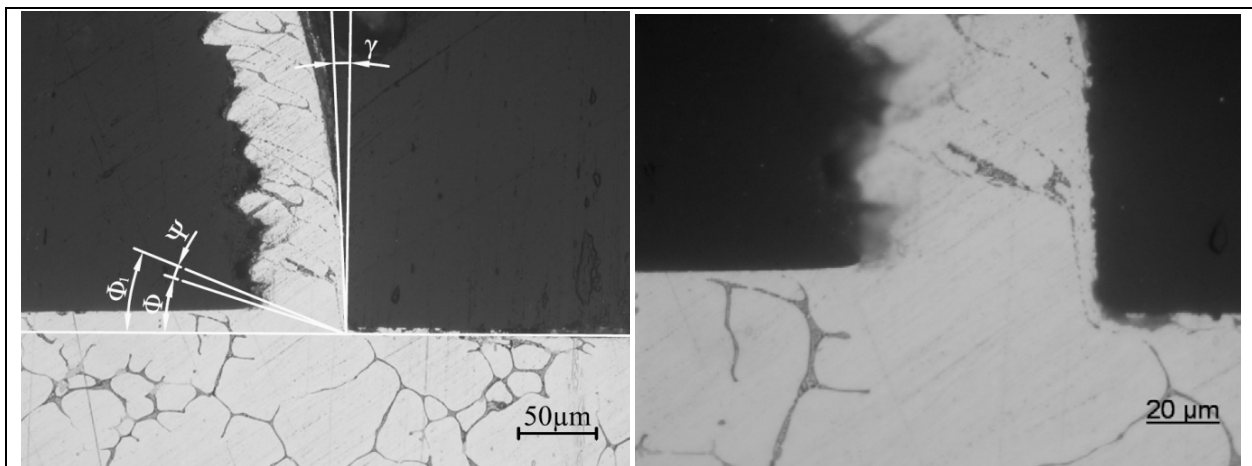


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 2,87$ | $\varepsilon_1 = 2,570$ |
| $g_k = 3,29$ | $\varepsilon_2 = -0,720$ |
| $e_1 = 12,742$ | $\delta_1 = 1,27$ |
| $e_2 = 0,078$ | $\delta_2 = -1,27$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -2^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 19^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 6^\circ$ |

Sl. 9. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 9.

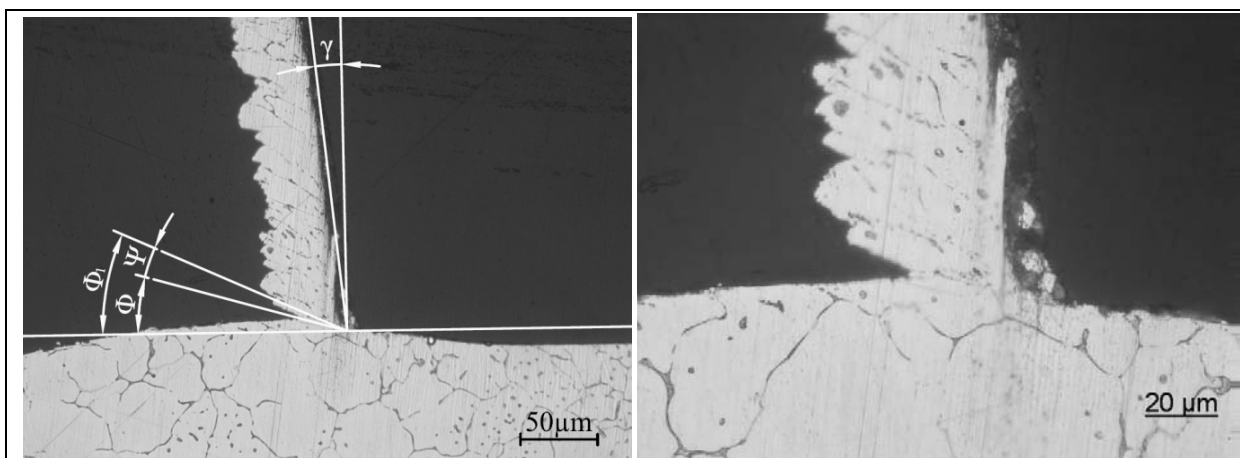


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 3,02$ | $\varepsilon_1 = 2,731$ |
| $g_k = 3,46$ | $\varepsilon_2 = -0,732$ |
| $e_1 = 13,921$ | $\delta_1 = 1,32$ |
| $e_2 = 0,072$ | $\delta_2 = -1,32$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -3^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 18^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 4^\circ$ |

Sl. 10. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 10.

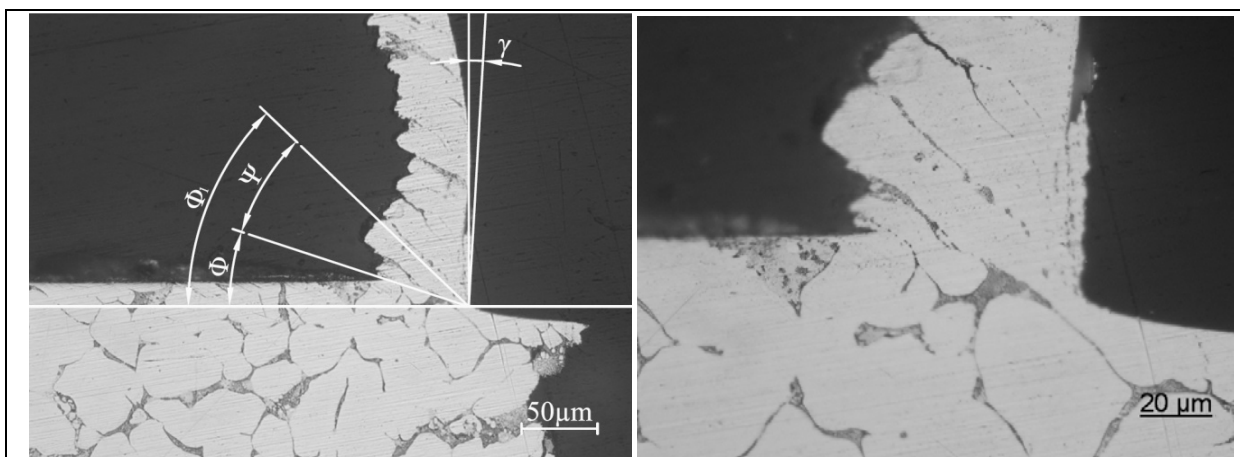


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 3,37$ | $\varepsilon_1 = 3,135$ |
| $g_k = 3,89$ | $\varepsilon_2 = -0,758$ |
| $e_1 = 17,098$ | $\delta_1 = 1,42$ |
| $e_2 = 0,058$ | $\delta_2 = -1,42$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -6^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 16^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 8^\circ$ |

Sl. 11. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 11.

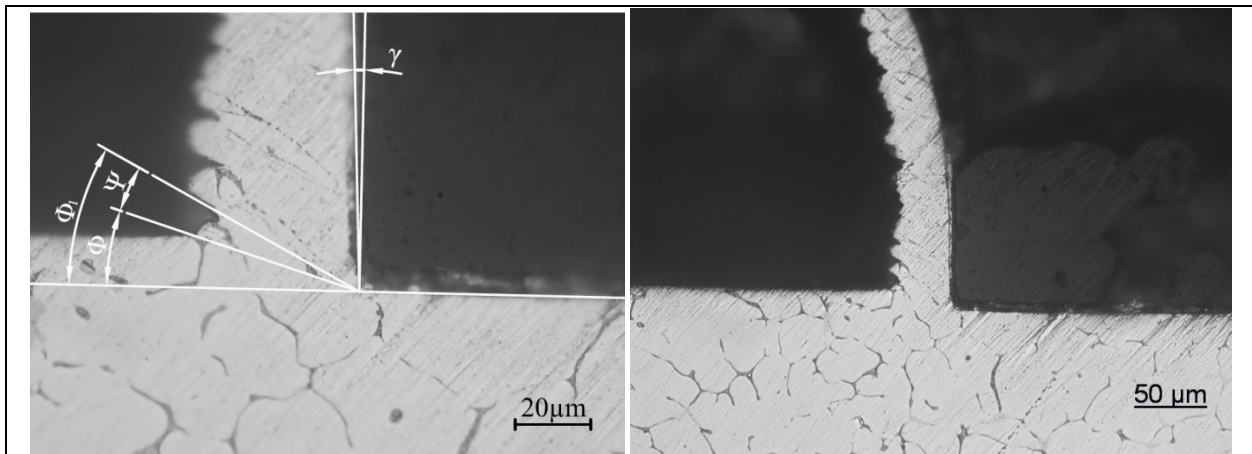


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 3,13$ | $\varepsilon_1 = 2,623$ |
| $g_k = 3,35$ | $\varepsilon_2 = -0,724$ |
| $e_1 = 13,127$ | $\delta_1 = 1,29$ |
| $e_2 = 0,076$ | $\delta_2 = -1,29$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = 3^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 18^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 26^\circ$ |

Sl. 12. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 12.

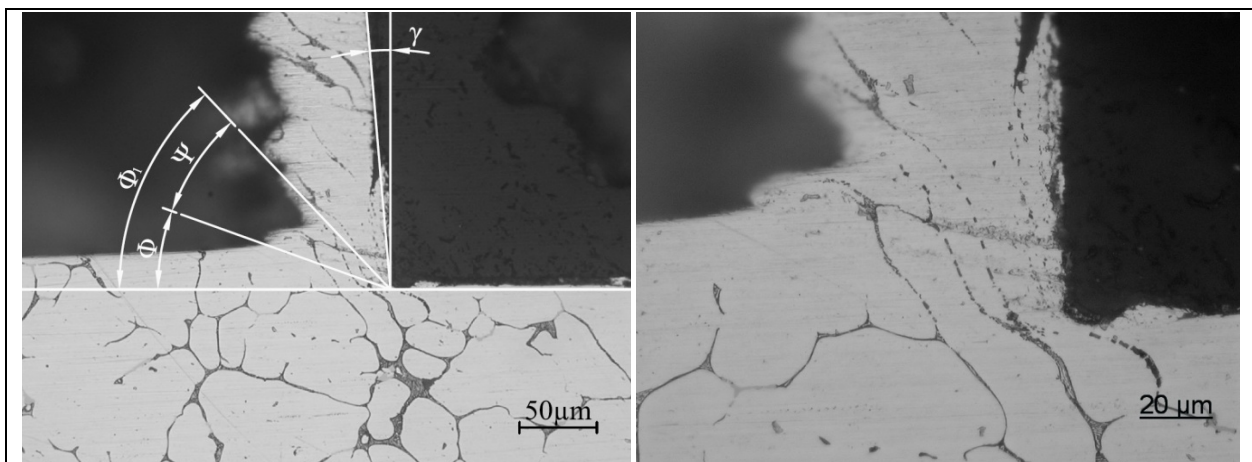


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 3,24$ | $\varepsilon_1 = 2,875$ |
| $g_k = 3,62$ | $\varepsilon_2 = -0,742$ |
| $e_1 = 15,014$ | $\delta_1 = 1,35$ |
| $e_2 = 0,067$ | $\delta_2 = -1,35$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -2^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 17^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 11^\circ$ |

Sl. 13. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 13.

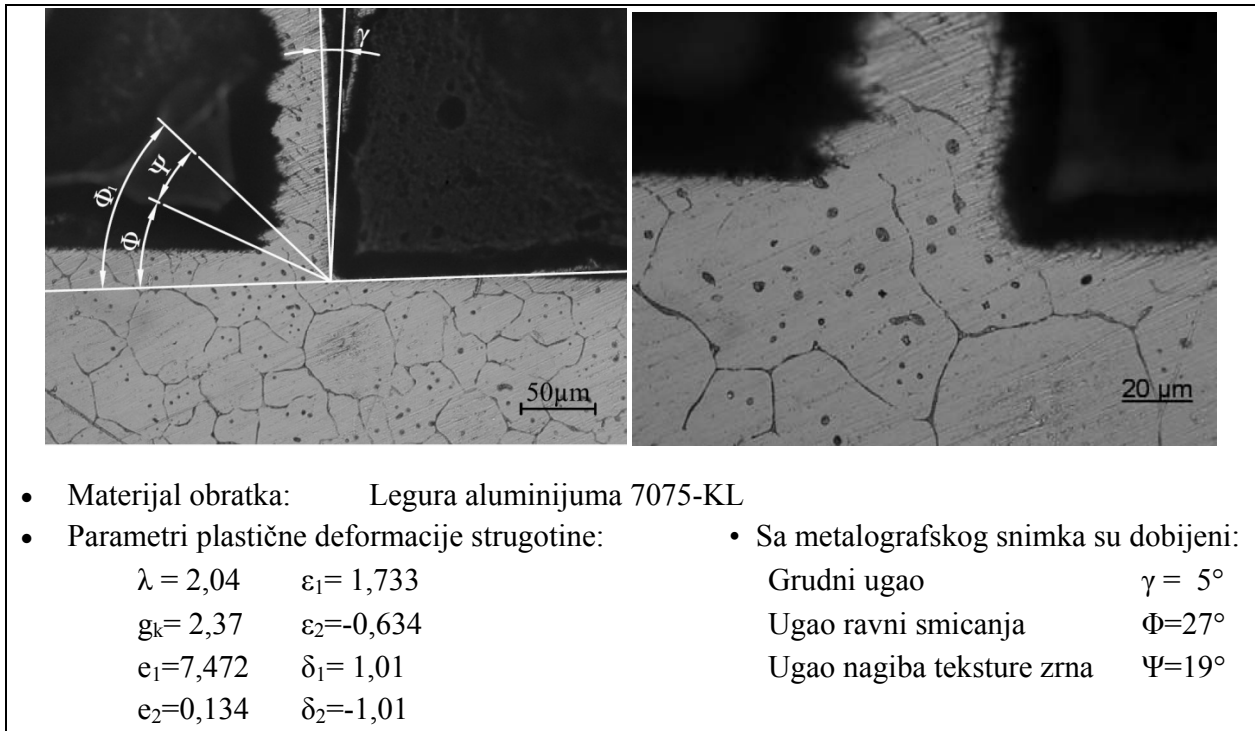


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

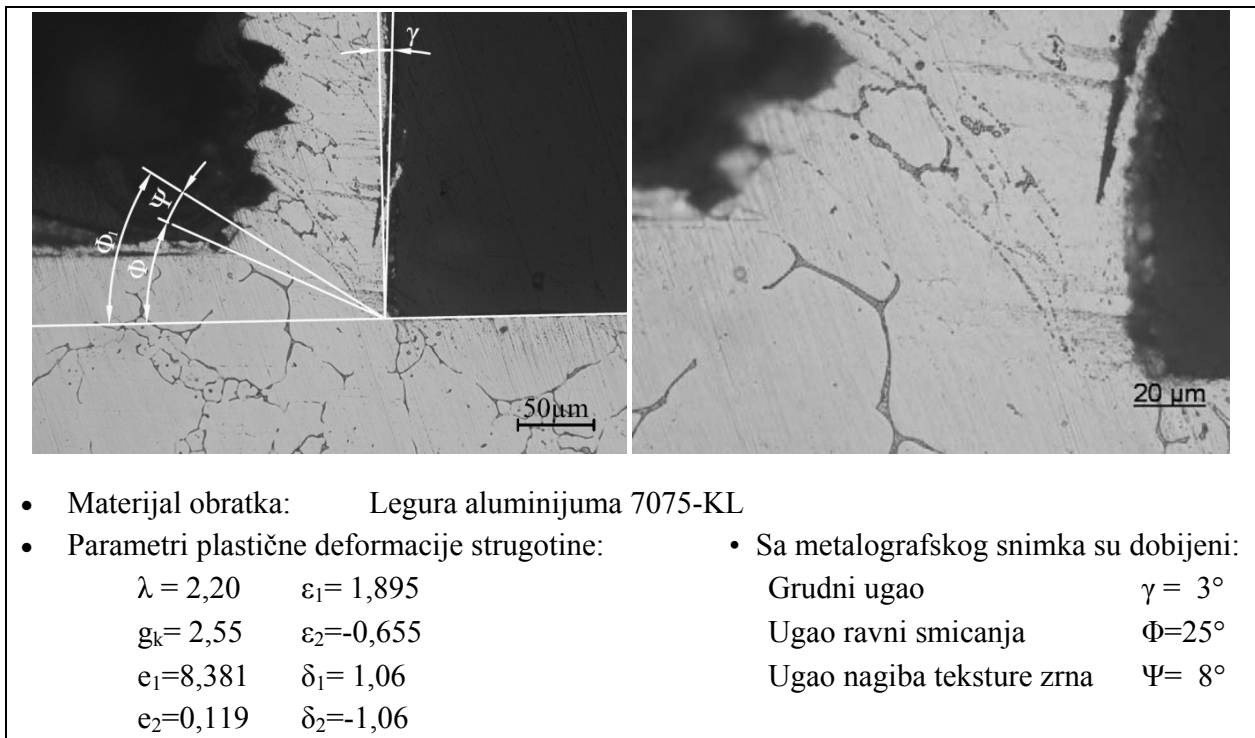
| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 2,65$ | $\varepsilon_1 = 2,501$ |
| $g_k = 3,22$ | $\varepsilon_2 = -0,714$ |
| $e_1 = 12,255$ | $\delta_1 = 1,25$ |
| $e_2 = 0,082$ | $\delta_2 = -1,25$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -5^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 20^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 27^\circ$ |

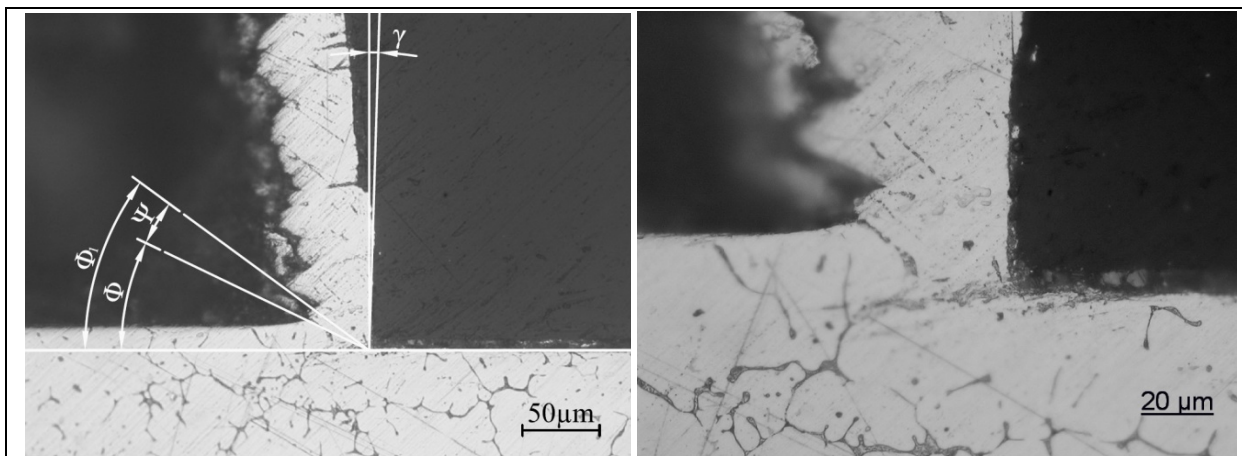
Sl. 14. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 14.



Sl. 15. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 15.



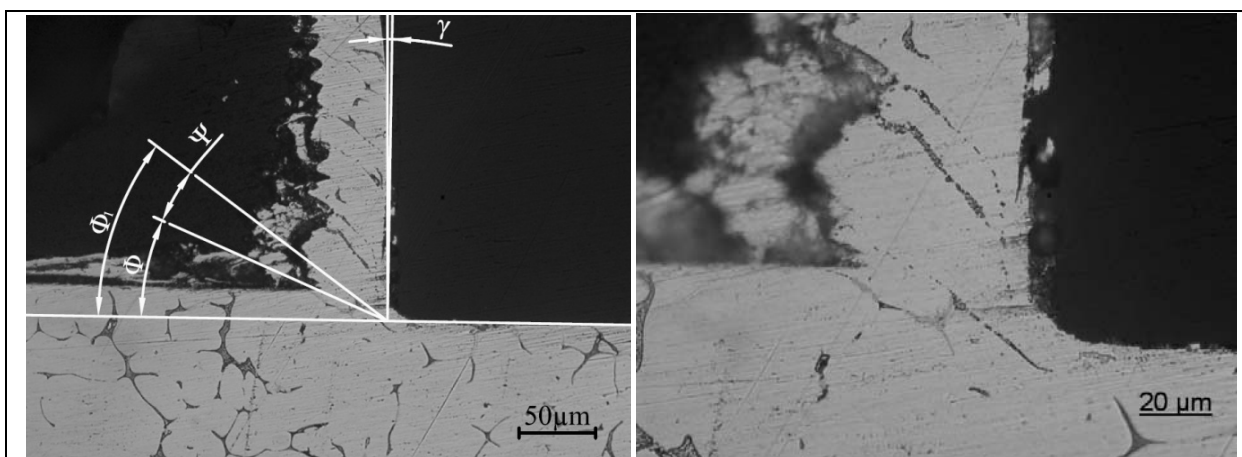
Sl. 16. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 16.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,09$ | $\varepsilon_1 = 1,848$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,50$ | $\varepsilon_2 = -0,649$ | Grudni ugao $\gamma = 2^\circ$ |
| $e_1 = 8,109$ | $\delta_1 = 1,05$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 26^\circ$ |
| $e_2 = 0,123$ | $\delta_2 = -1,05$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 11^\circ$ |

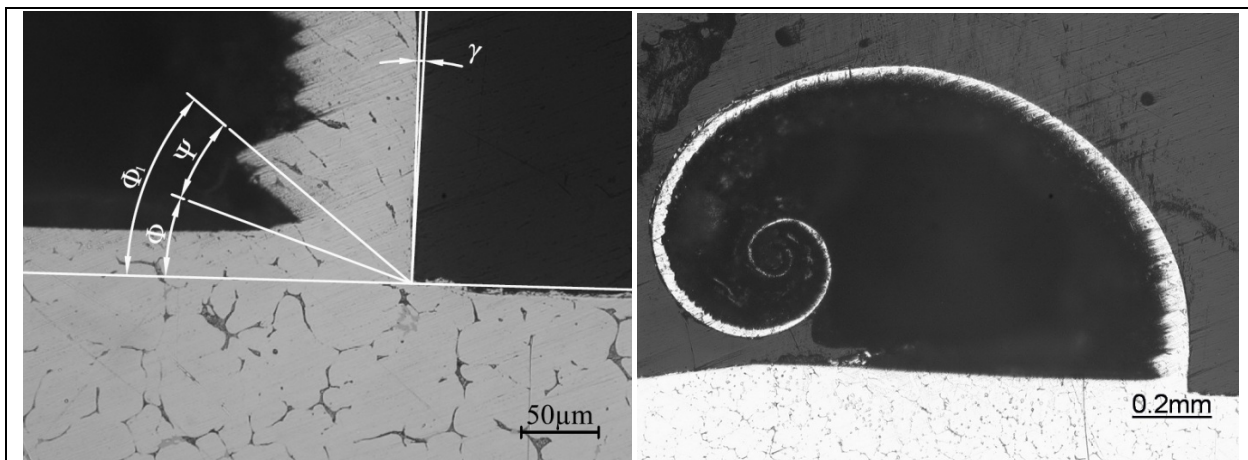
Sl. 17. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 17.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,34$ | $\varepsilon_1 = 2,122$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,80$ | $\varepsilon_2 = -0,680$ | Grudni ugao $\gamma = -1^\circ$ |
| $e_1 = 9,750$ | $\delta_1 = 1,14$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 23^\circ$ |
| $e_2 = 0,103$ | $\delta_2 = -1,14$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 13^\circ$ |

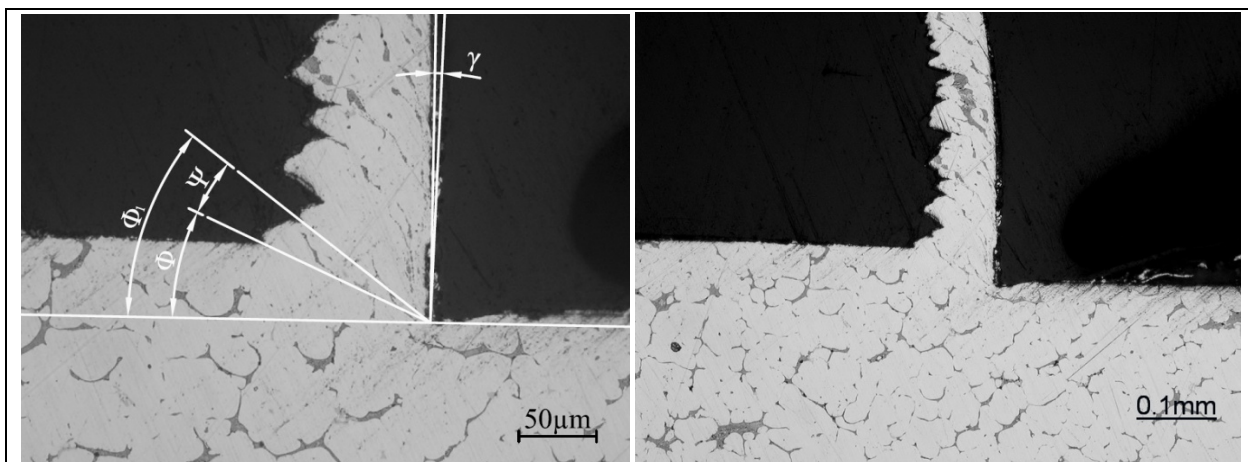
Sl. 18. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 18.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,92$ | $\varepsilon_1 = 2,515$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 3,23$ | $\varepsilon_2 = -0,716$ | Grudni ugao $\gamma = 1^\circ$ |
| $e_1 = 12,355$ | $\delta_1 = 1,26$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 19^\circ$ |
| $e_2 = 0,081$ | $\delta_2 = -1,26$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 20^\circ$ |

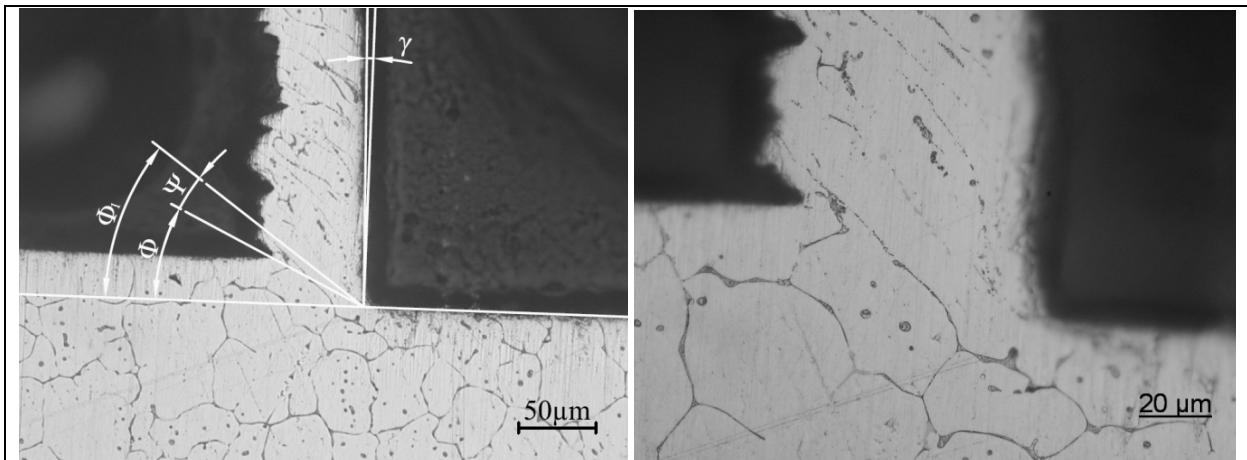
Sl. 19. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 19.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,28$ | $\varepsilon_1 = 1,986$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,65$ | $\varepsilon_2 = -0,665$ | Grudni ugao $\gamma = 2^\circ$ |
| $e_1 = 8,916$ | $\delta_1 = 1,09$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 24^\circ$ |
| $e_2 = 0,112$ | $\delta_2 = -1,09$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 13^\circ$ |

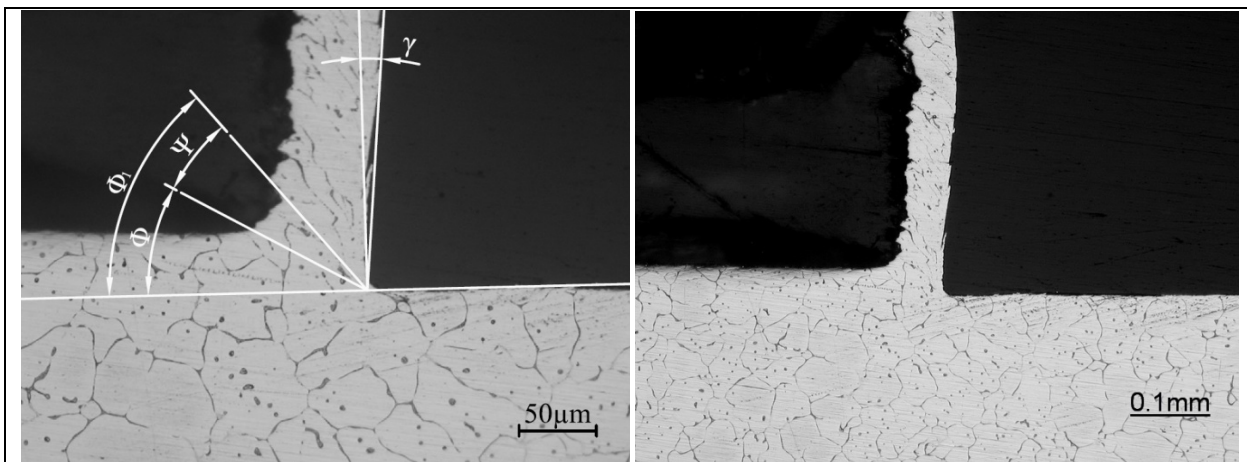
Sl. 20. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 20.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,02$ | $\varepsilon_1 = 1,925$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,58$ | $\varepsilon_2 = -0,658$ | Grudni ugao $\gamma = -2^\circ$ |
| $e_1 = 8,554$ | $\delta_1 = 1,07$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 26^\circ$ |
| $e_2 = 0,117$ | $\delta_2 = -1,07$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 10^\circ$ |

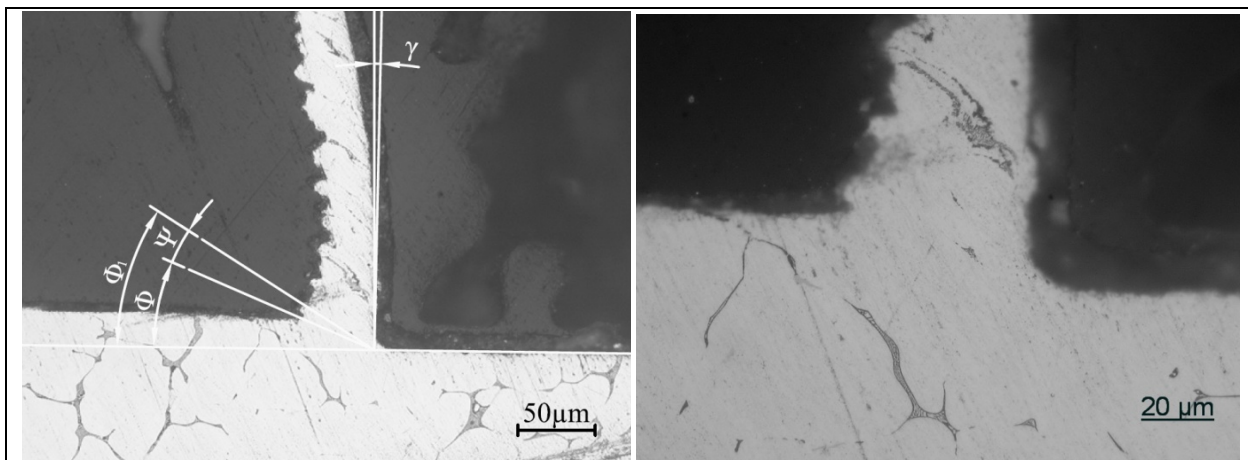
Sl. 21. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 21.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 1,89$ | $\varepsilon_1 = 1,630$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,25$ | $\varepsilon_2 = -0,620$ | Grudni ugao $\gamma = 5^\circ$ |
| $e_1 = 6,918$ | $\delta_1 = 0,97$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 29^\circ$ |
| $e_2 = 0,145$ | $\delta_2 = -0,97$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 21^\circ$ |

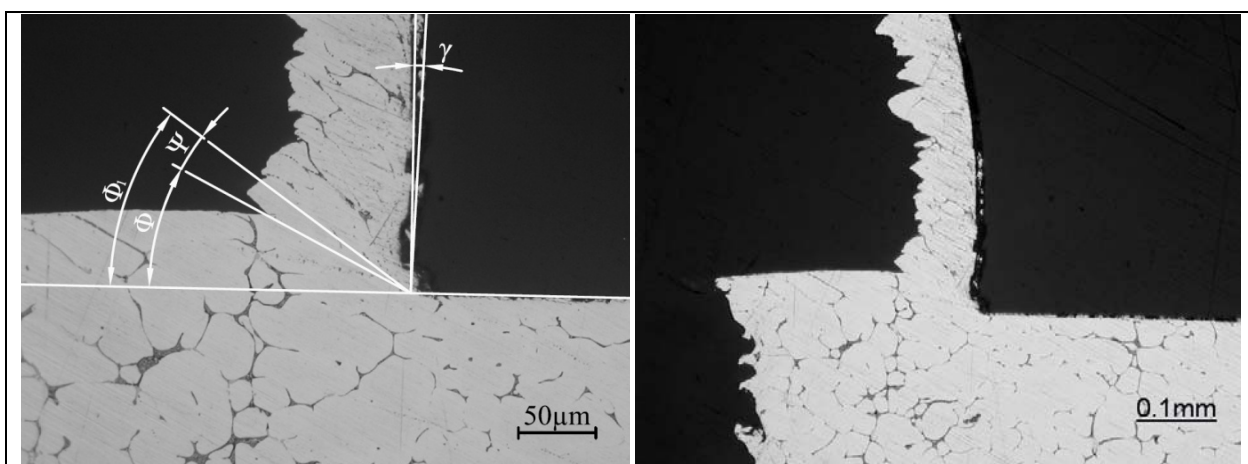
Sl. 22. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 22.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|--|
| $\lambda = 2,34$ | $\varepsilon_1 = 2,122$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,80$ | $\varepsilon_2 = -0,680$ | Grudni ugao $\gamma = -1^\circ$ |
| $e_1 = 9,750$ | $\delta_1 = 1,14$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 23^\circ$ |
| $e_2 = 0,103$ | $\delta_2 = -1,14$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 9^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

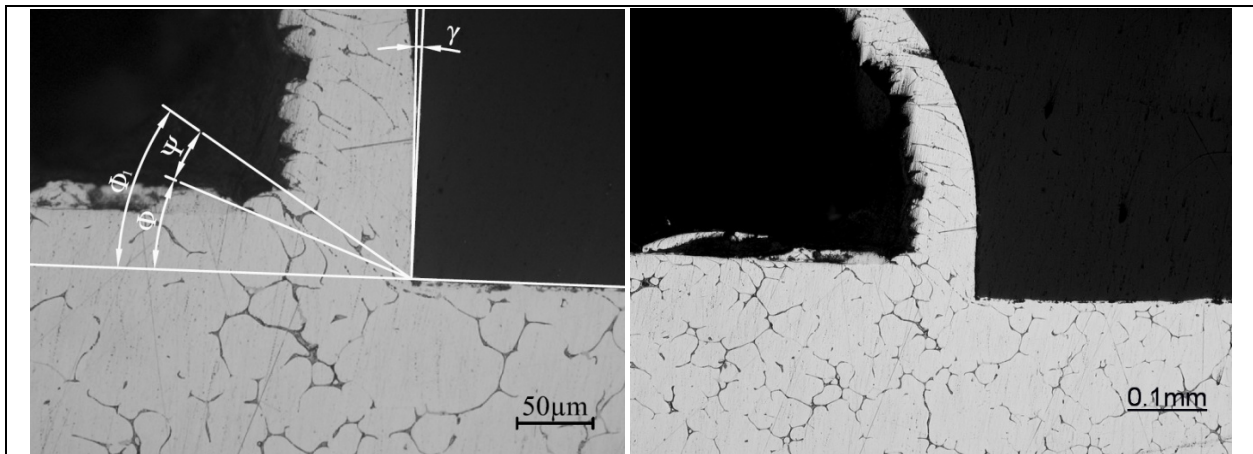
Sl. 23. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 23.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|--|
| $\lambda = 2,00$ | $\varepsilon_1 = 1,788$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,43$ | $\varepsilon_2 = -0,641$ | Grudni ugao $\gamma = 2^\circ$ |
| $e_1 = 7,775$ | $\delta_1 = 1,03$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 27^\circ$ |
| $e_2 = 0,129$ | $\delta_2 = -1,03$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 8^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

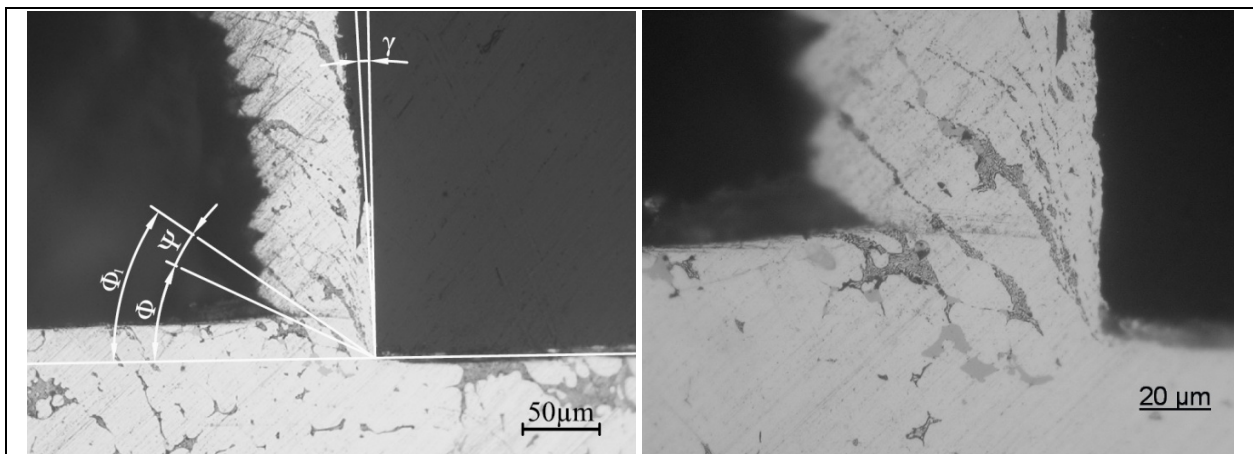
Sl. 24. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 24.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,59$ | $\varepsilon_1 = 2,312$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 3,01$ | $\varepsilon_2 = -0,698$ | Grudni ugao $\gamma = -1^\circ$ |
| $e_1 = 10,971$ | $\delta_1 = 1,20$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 21^\circ$ |
| $e_2 = 0,091$ | $\delta_2 = -1,20$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 12^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

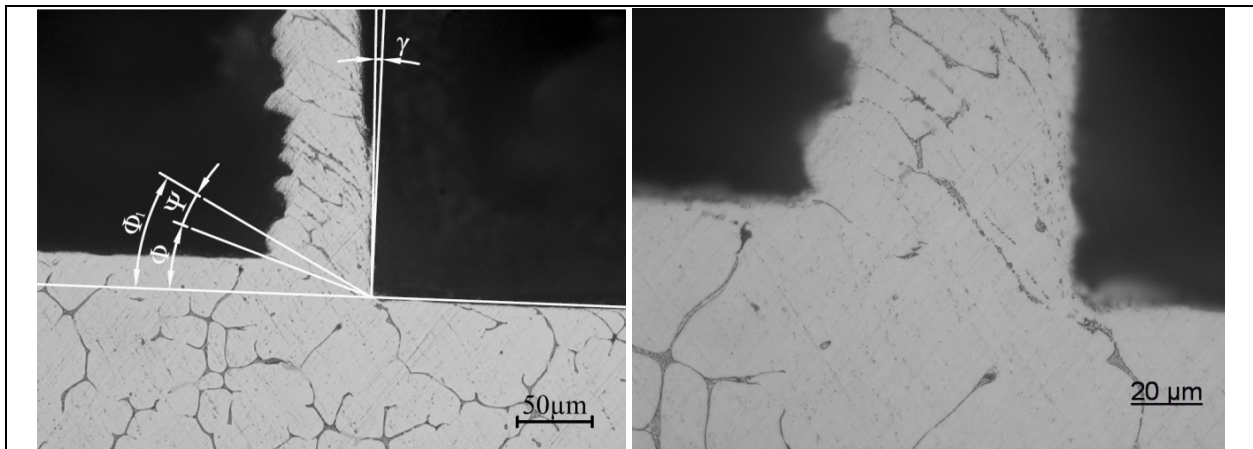
Sl. 25. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 1.dodatni.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|--|
| $\lambda = 2,02$ | $\varepsilon_1 = 1,925$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,58$ | $\varepsilon_2 = -0,658$ | Grudni ugao $\gamma = -2^\circ$ |
| $e_1 = 8,554$ | $\delta_1 = 1,07$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 26^\circ$ |
| $e_2 = 0,117$ | $\delta_2 = -1,07$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 9^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

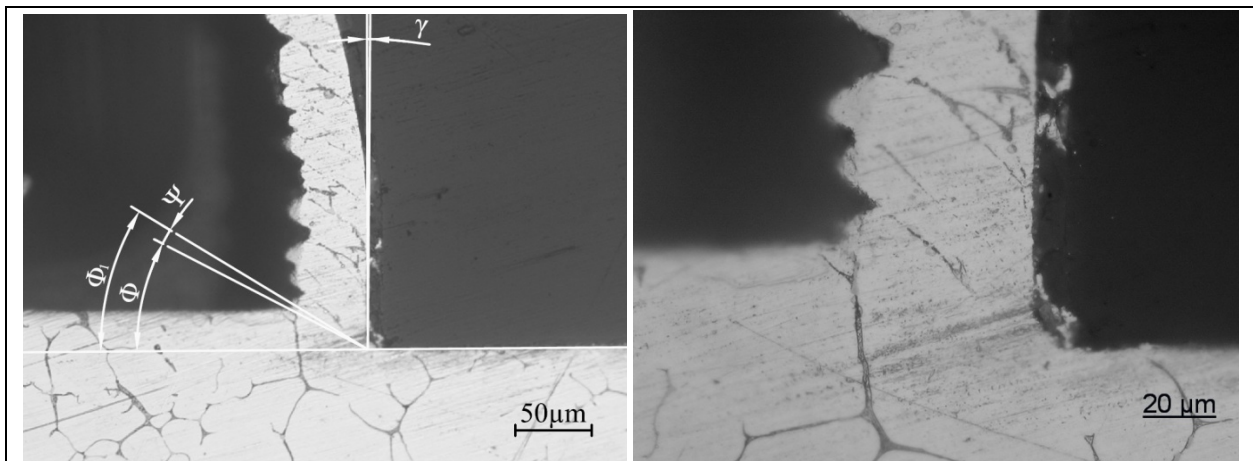
Sl. 26. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 2.dodatni.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | | |
|------------------|-----------------------|---|---------------------|
| $\lambda = 2,87$ | $\epsilon_1 = 2,570$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: | |
| $g_k = 3,29$ | $\epsilon_2 = -0,720$ | Grudni ugao | $\gamma = -2^\circ$ |
| $e_1 = 12,742$ | $\delta_1 = 1,27$ | Ugao ravni smicanja | $\Phi = 19^\circ$ |
| $e_2 = 0,078$ | $\delta_2 = -1,27$ | Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 9^\circ$ |

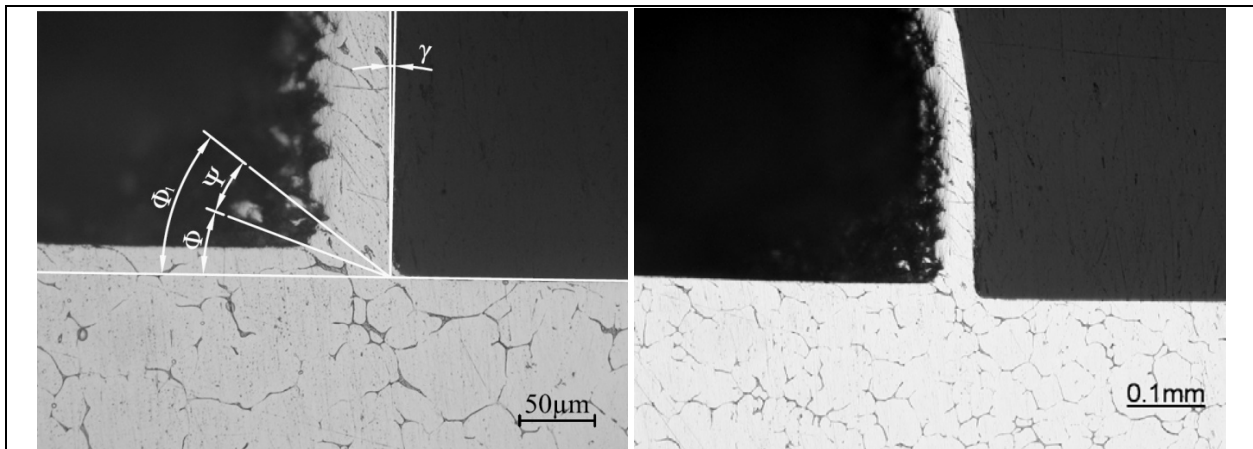
Sl. 27. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 3.dodatni.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | | |
|------------------|-----------------------|---|--------------------|
| $\lambda = 1,90$ | $\epsilon_1 = 1,754$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: | |
| $g_k = 2,39$ | $\epsilon_2 = -0,637$ | Grudni ugao | $\gamma = 1^\circ$ |
| $e_1 = 7,585$ | $\delta_1 = 1,01$ | Ugao ravni smicanja | $\Phi = 28^\circ$ |
| $e_2 = 0,132$ | $\delta_2 = -1,01$ | Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 4^\circ$ |

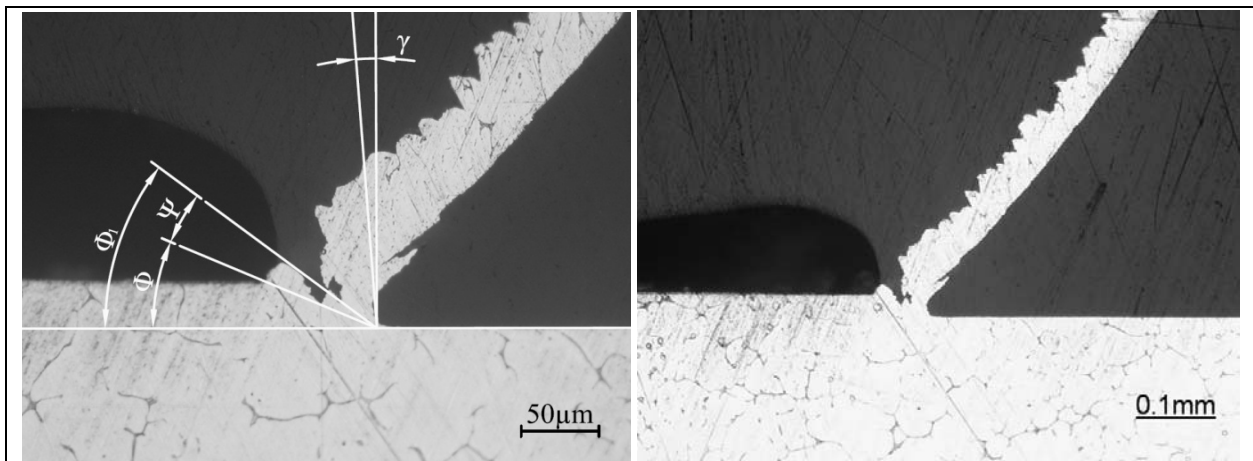
Sl. 28. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 4.dodatni.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|-----------------------|---|
| $\lambda = 2,73$ | $\epsilon_1 = 2,425$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 3,13$ | $\epsilon_2 = -0,708$ | Grudni ugao $\gamma = -1^\circ$ |
| $e_1 = 11,728$ | $\delta_1 = 1,23$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 20^\circ$ |
| $e_2 = 0,085$ | $\delta_2 = -1,23$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 18^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

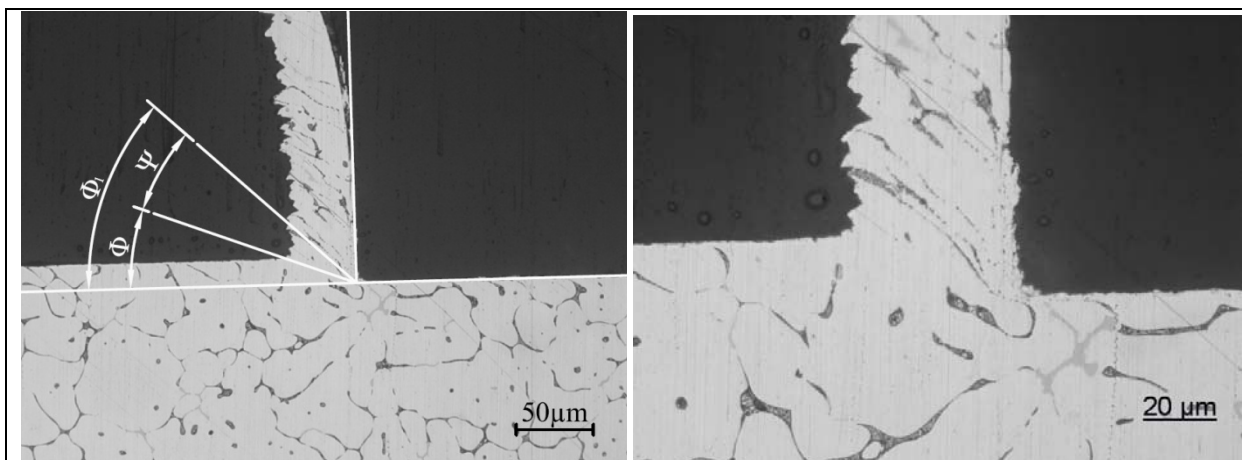
Sl. 29. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 5.dodatni.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-KL
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|-----------------------|---|
| $\lambda = 2,28$ | $\epsilon_1 = 2,181$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,87$ | $\epsilon_2 = -0,686$ | Grudni ugao $\gamma = -4^\circ$ |
| $e_1 = 10,117$ | $\delta_1 = 1,16$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 23^\circ$ |
| $e_2 = 0,099$ | $\delta_2 = -1,16$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 14^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

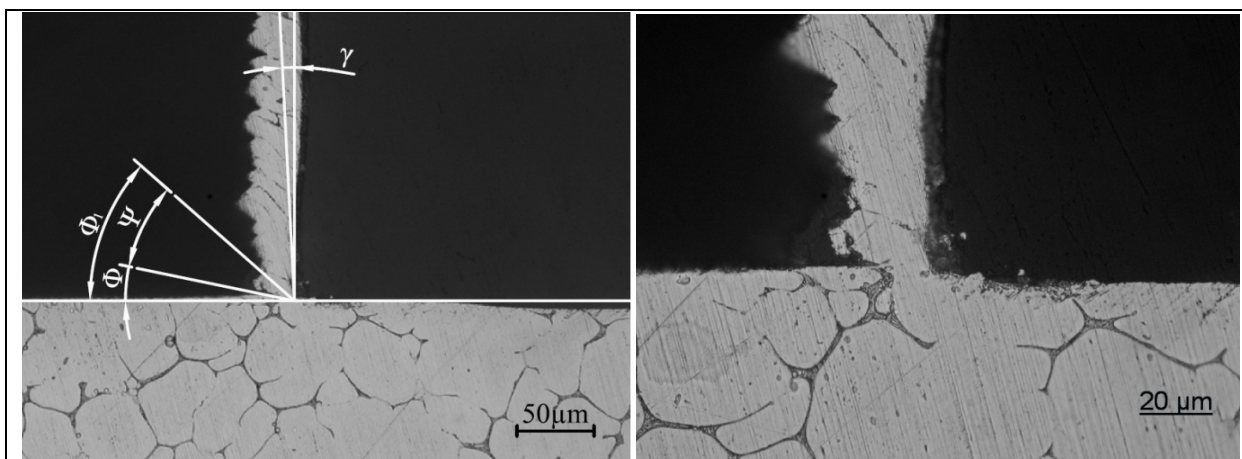
Sl. 30. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 6.dodatni.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,75$ | $\varepsilon_1 = 2,406$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 3,11$ | $\varepsilon_2 = -0,706$ | Grudni ugao $\gamma = 0^\circ$ |
| $e_1 = 11,603$ | $\delta_1 = 1,23$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 20^\circ$ |
| $e_2 = 0,086$ | $\delta_2 = -1,23$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 22^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

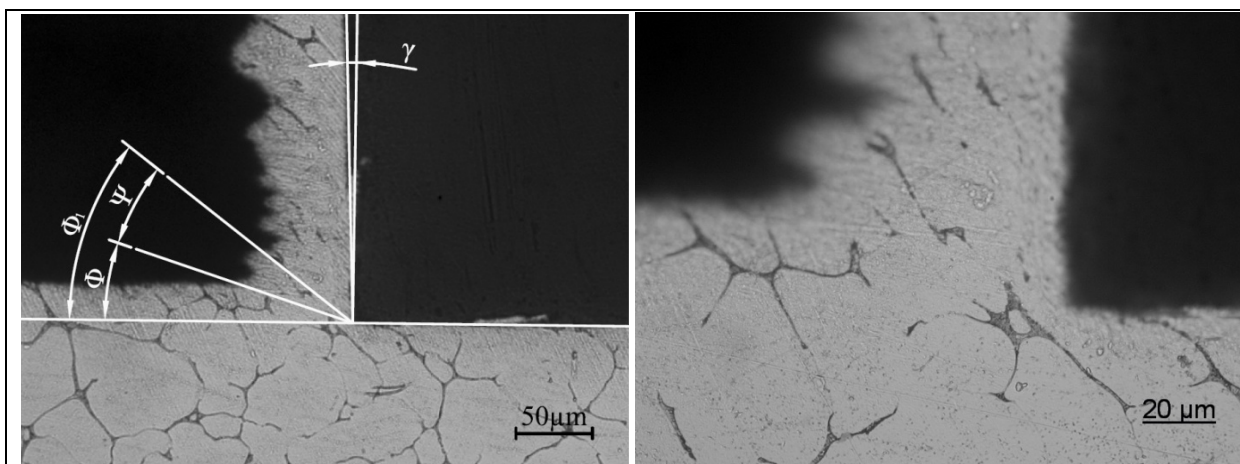
Sl. 31. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 1.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 4,65$ | $\varepsilon_1 = 4,168$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 4,97$ | $\varepsilon_2 = -0,807$ | Grudni ugao $\gamma = -3^\circ$ |
| $e_1 = 26,712$ | $\delta_1 = 1,64$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 12^\circ$ |
| $e_2 = 0,037$ | $\delta_2 = -1,64$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 30^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

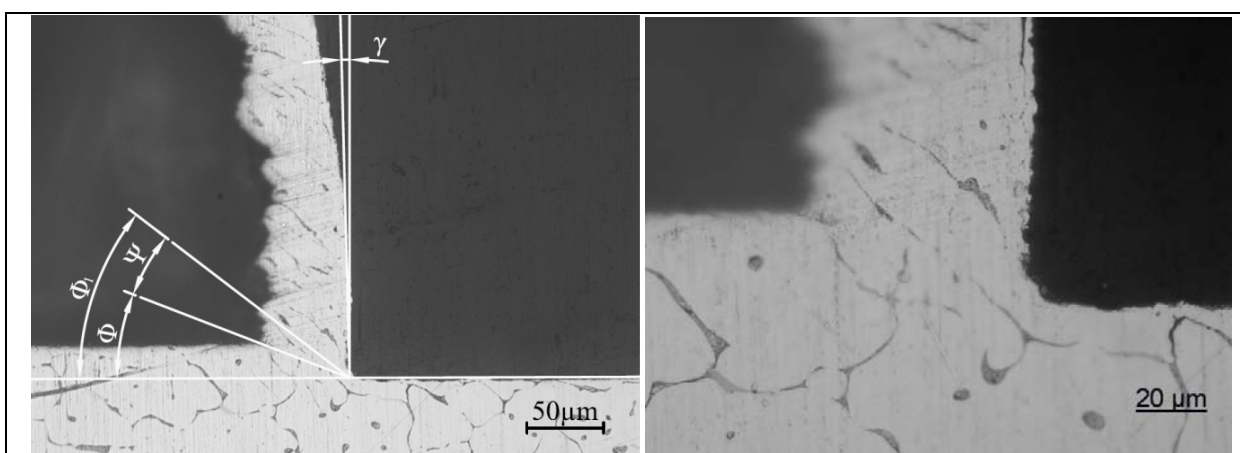
Sl. 32. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 2.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 3,04$ | $\varepsilon_1 = 2,712$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 3,44$ | $\varepsilon_2 = -0,731$ | Grudni ugao $\gamma = -2^\circ$ |
| $e_1 = 13,783$ | $\delta_1 = 1,31$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 18^\circ$ |
| $e_2 = 0,073$ | $\delta_2 = -1,31$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 19^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

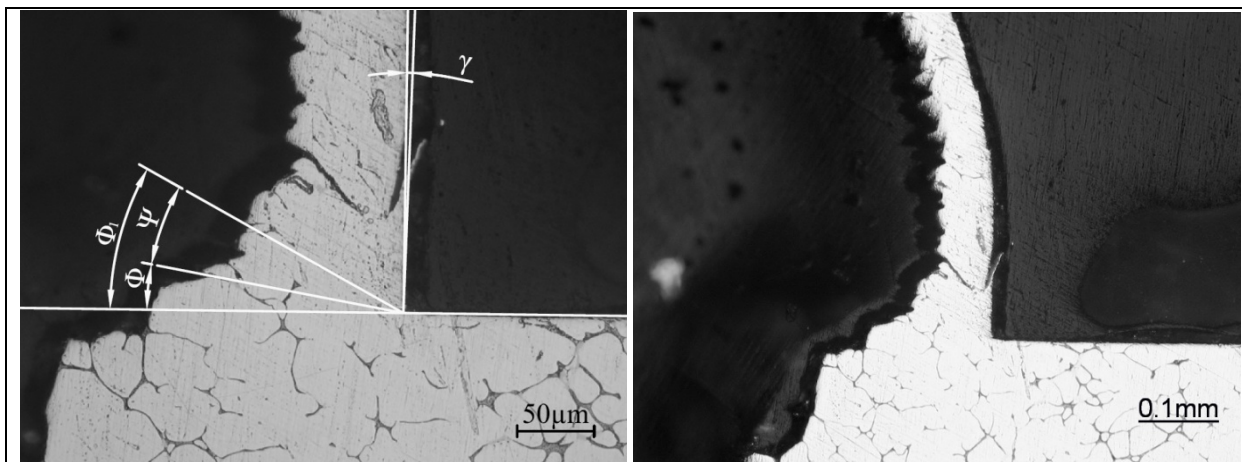
Sl. 33. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 3.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,46$ | $\varepsilon_1 = 2,212$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,90$ | $\varepsilon_2 = -0,689$ | Grudni ugao $\gamma = -1^\circ$ |
| $e_1 = 10,317$ | $\delta_1 = 1,17$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 22^\circ$ |
| $e_2 = 0,097$ | $\delta_2 = -1,17$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 16^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

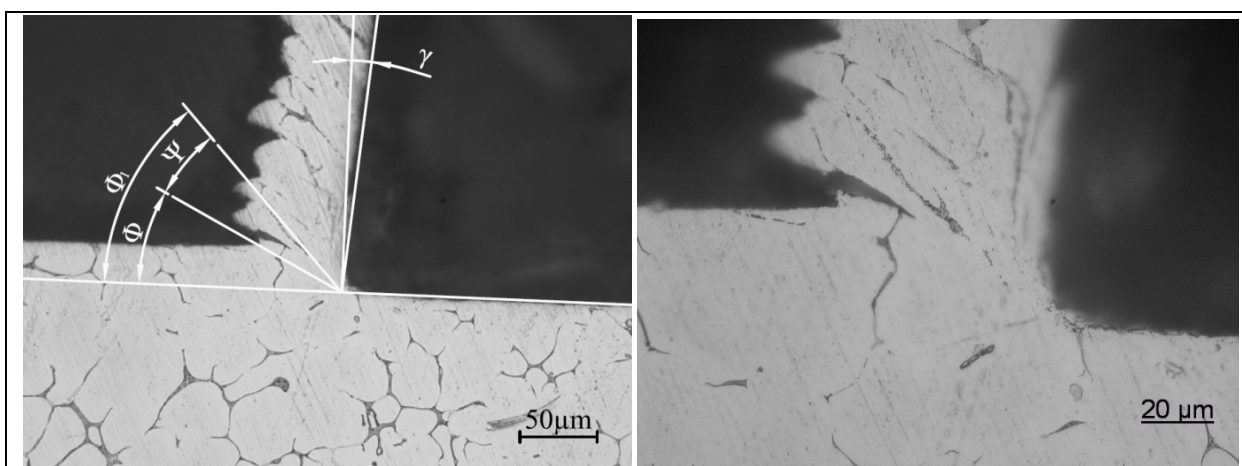
Sl. 34. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 4.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 5,69$ | $\varepsilon_1 = 4,999$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 5,83$ | $\varepsilon_2 = -0,833$ | Grudni ugao $\gamma = 1^\circ$ |
| $e_1 = 35,991$ | $\delta_1 = 1,79$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 10^\circ$ |
| $e_2 = 0,028$ | $\delta_2 = -1,79$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 18^\circ$ |

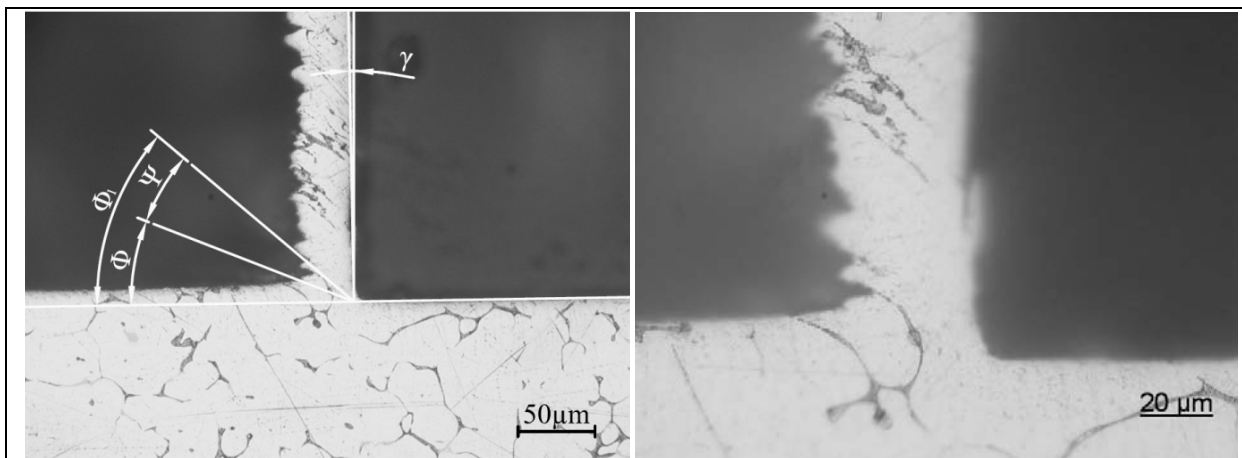
Sl. 35. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 5.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,04$ | $\varepsilon_1 = 1,733$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,37$ | $\varepsilon_2 = -0,634$ | Grudni ugao $\gamma = 5^\circ$ |
| $e_1 = 7,472$ | $\delta_1 = 1,01$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 27^\circ$ |
| $e_2 = 0,134$ | $\delta_2 = -1,01$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 20^\circ$ |

Sl. 36. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 6.

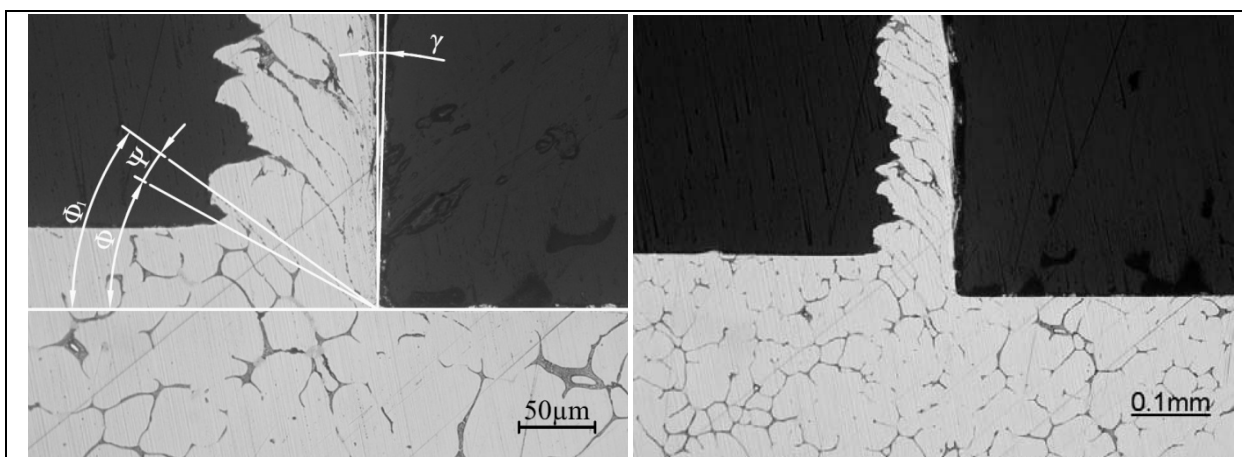


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 2,49$ | $\varepsilon_1 = 2,175$ |
| $g_k = 2,86$ | $\varepsilon_2 = -0,685$ |
| $e_1 = 10,081$ | $\delta_1 = 1,16$ |
| $e_2 = 0,099$ | $\delta_2 = -1,16$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = 1^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 22^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 19^\circ$ |

Sl. 37. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 7.

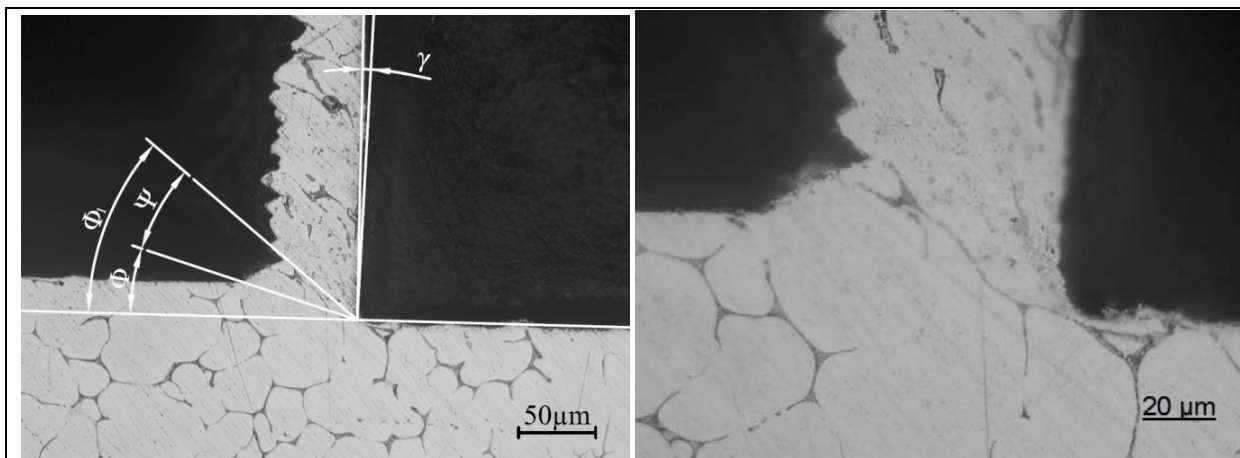


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 1,84$ | $\varepsilon_1 = 1,687$ |
| $g_k = 2,31$ | $\varepsilon_2 = -0,628$ |
| $e_1 = 7,218$ | $\delta_1 = 0,99$ |
| $e_2 = 0,139$ | $\delta_2 = -0,99$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = 2^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 29^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 7^\circ$ |

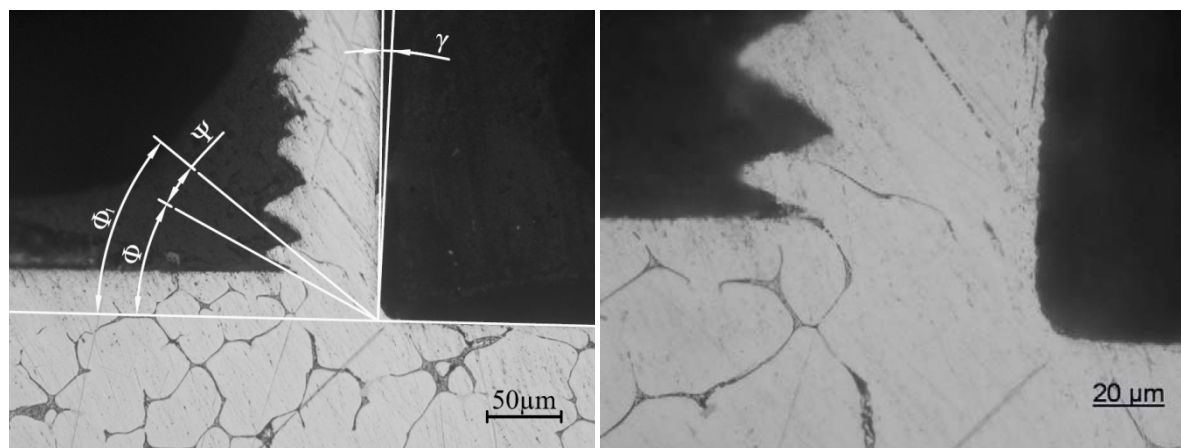
Sl. 38. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 8.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 3,31$ | $\varepsilon_1 = 2,803$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 3,54$ | $\varepsilon_2 = -0,737$ | Grudni ugao $\gamma = 2^\circ$ |
| $e_1 = 14,465$ | $\delta_1 = 1,34$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 17^\circ$ |
| $e_2 = 0,069$ | $\delta_2 = -1,34$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 22^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

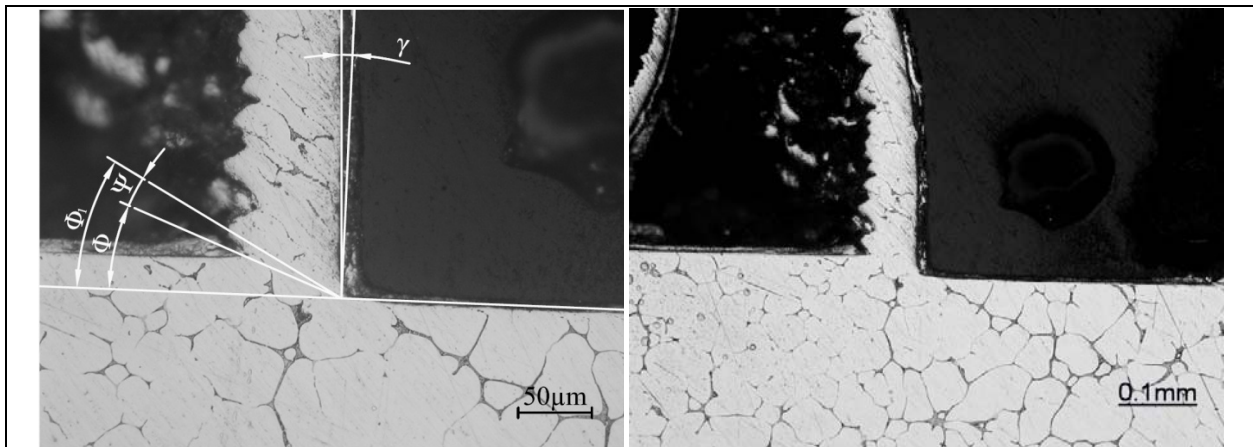
Sl. 39. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 9.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,00$ | $\varepsilon_1 = 1,788$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,43$ | $\varepsilon_2 = -0,641$ | Grudni ugao $\gamma = 2^\circ$ |
| $e_1 = 7,775$ | $\delta_1 = 1,03$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 27^\circ$ |
| $e_2 = 0,129$ | $\delta_2 = -1,03$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 11^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

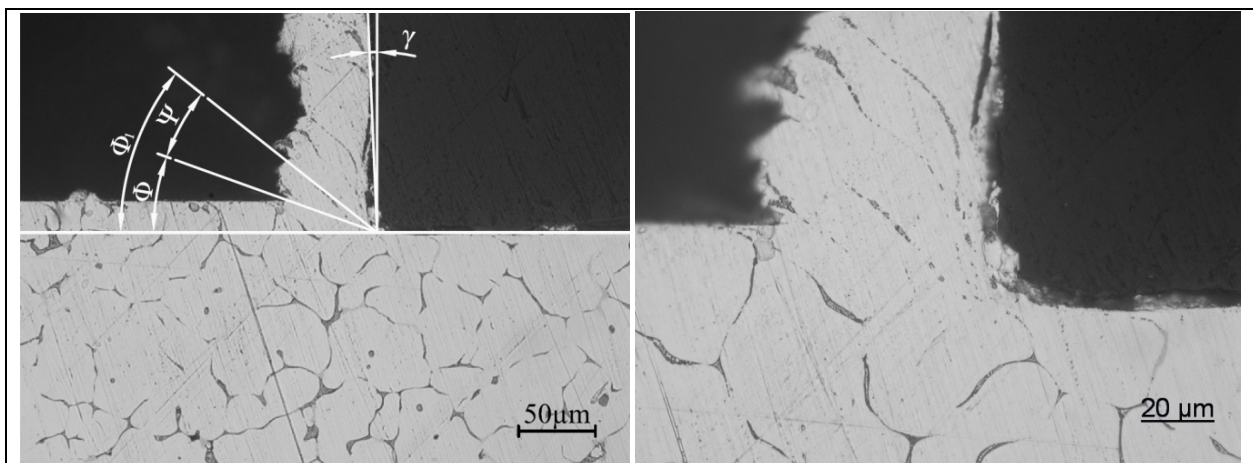
Sl. 40. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 10.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | | |
|------------------|--------------------------|---|---------------------|
| $\lambda = 2,55$ | $\varepsilon_1 = 2,350$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: | |
| $g_k = 3,05$ | $\varepsilon_2 = -0,701$ | Grudni ugao | $\gamma = -3^\circ$ |
| $e_1 = 11,223$ | $\delta_1 = 1,21$ | Ugao ravni smicanja | $\Phi = 21^\circ$ |
| $e_2 = 0,089$ | $\delta_2 = -1,21$ | Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 8^\circ$ |

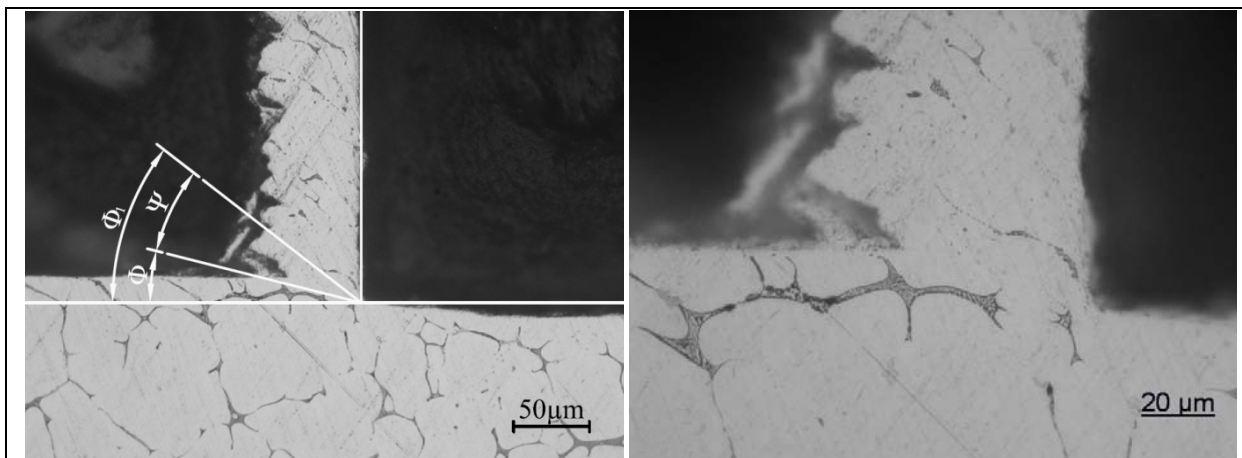
Sl. 41. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 11.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | | |
|------------------|--------------------------|---|---------------------|
| $\lambda = 2,71$ | $\varepsilon_1 = 2,443$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: | |
| $g_k = 3,15$ | $\varepsilon_2 = -0,710$ | Grudni ugao | $\gamma = -2^\circ$ |
| $e_1 = 11,856$ | $\delta_1 = 1,24$ | Ugao ravni smicanja | $\Phi = 20^\circ$ |
| $e_2 = 0,084$ | $\delta_2 = -1,24$ | Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 19^\circ$ |

Sl. 42. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 12.

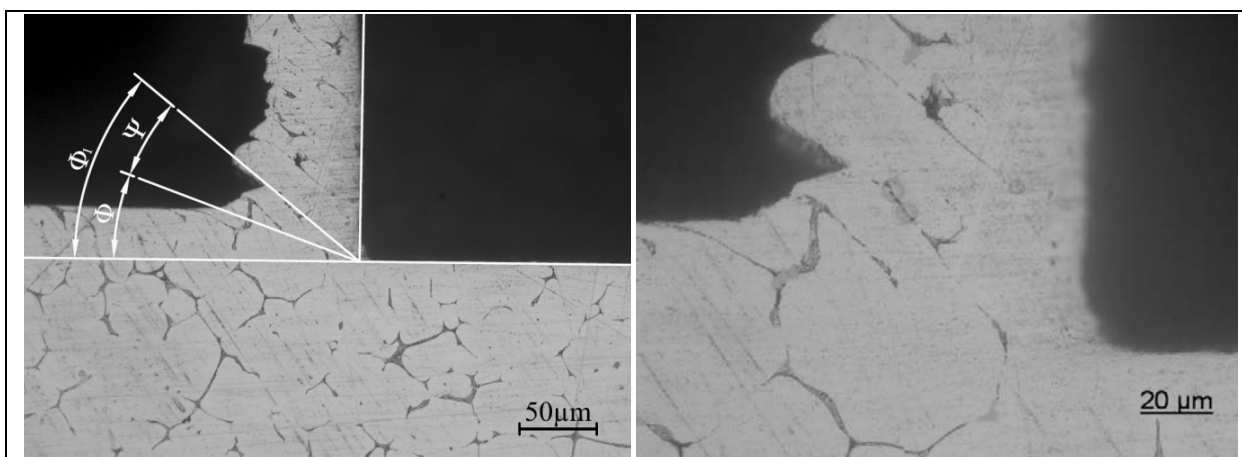


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 4,01$ | $\varepsilon_1 = 3,485$ |
| $g_k = 4,26$ | $\varepsilon_2 = -0,777$ |
| $e_1 = 20,116$ | $\delta_1 = 1,50$ |
| $e_2 = 0,050$ | $\delta_2 = -1,50$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = 0^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 14^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 24^\circ$ |

Sl. 43. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 13.

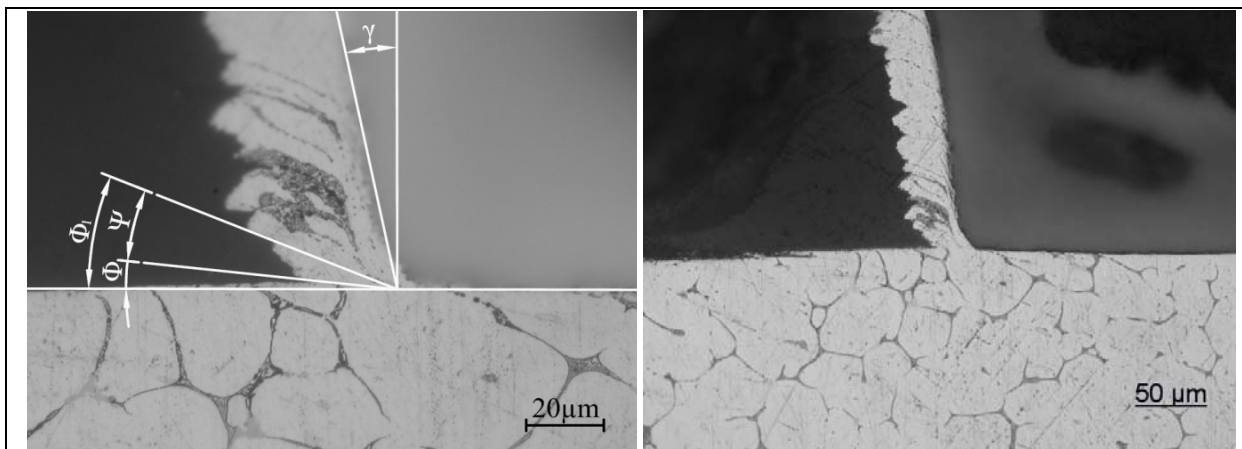


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 2,75$ | $\varepsilon_1 = 2,406$ |
| $g_k = 3,11$ | $\varepsilon_2 = -0,706$ |
| $e_1 = 11,603$ | $\delta_1 = 1,23$ |
| $e_2 = 0,086$ | $\delta_2 = -1,23$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = 0^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 20^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 19^\circ$ |

Sl. 44. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 14.

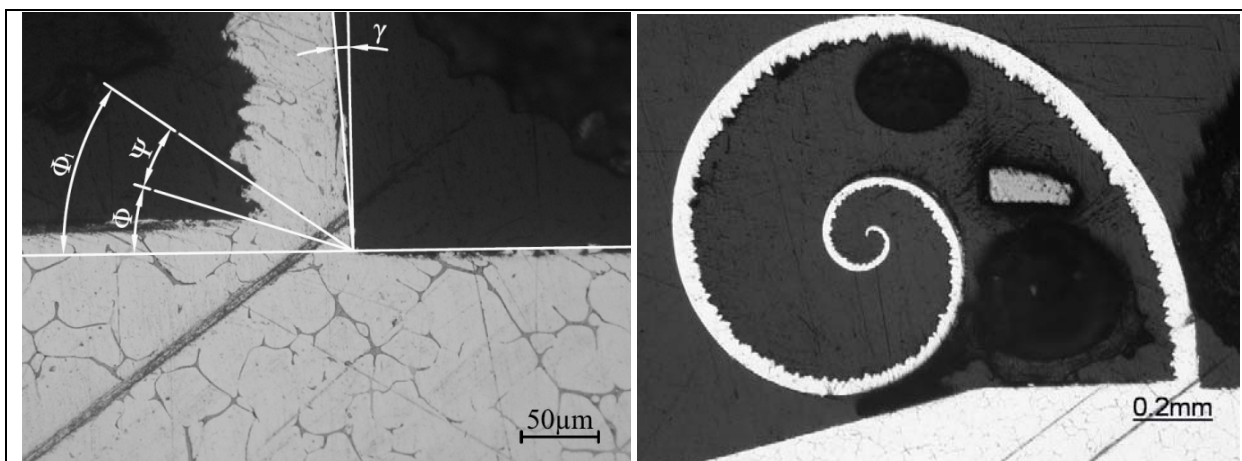


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 9,10$ | $\varepsilon_1 = 8,945$ |
| $g_k = 9,84$ | $\varepsilon_2 = -0,899$ |
| $e_1 = 98,894$ | $\delta_1 = 2,30$ |
| $e_2 = 0,010$ | $\delta_2 = -2,30$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|----------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -12^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 6^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 16^\circ$ |

Sl. 45. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 15.

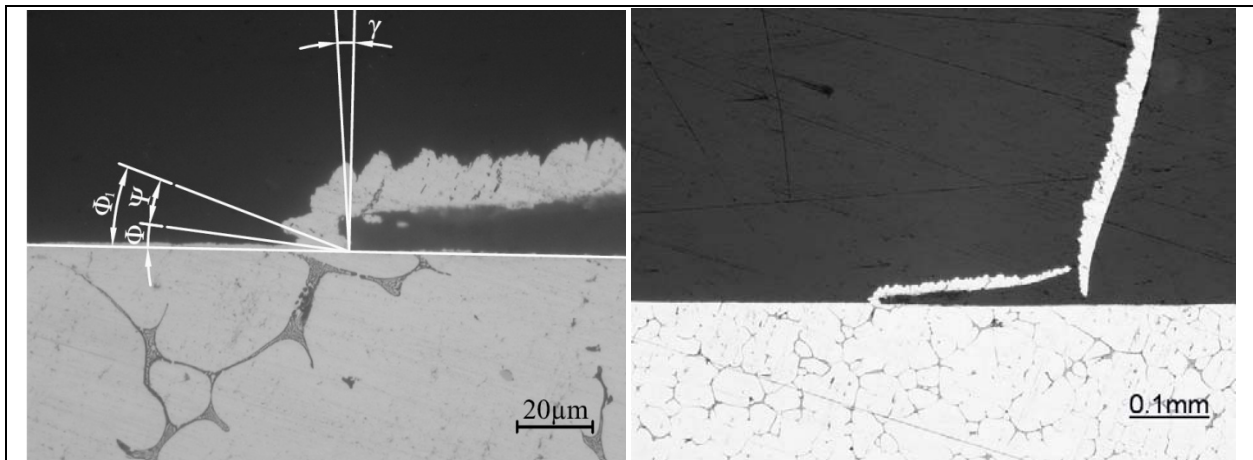


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 3,00$ | $\varepsilon_1 = 2,750$ |
| $g_k = 3,48$ | $\varepsilon_2 = -0,733$ |
| $e_1 = 14,061$ | $\delta_1 = 1,32$ |
| $e_2 = 0,071$ | $\delta_2 = -1,32$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -4^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 18^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 17^\circ$ |

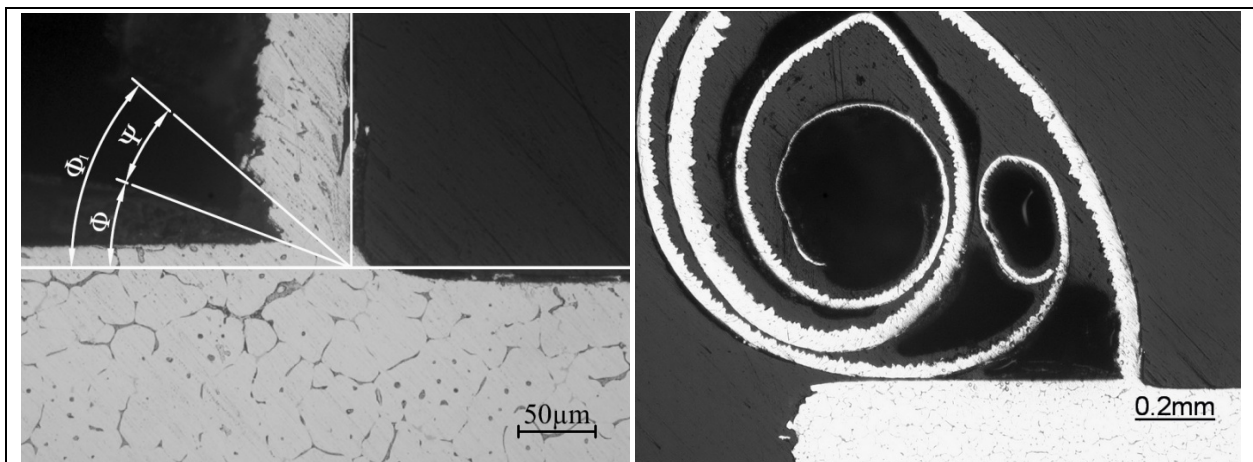
Sl. 46. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 16.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 9,40$ | $\varepsilon_1 = 8,815$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 9,71$ | $\varepsilon_2 = -0,898$ | Grudni ugao $\gamma = -5^\circ$ |
| $e_1 = 96,342$ | $\delta_1 = 2,28$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 6^\circ$ |
| $e_2 = 0,010$ | $\delta_2 = -2,28$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 13^\circ$ |

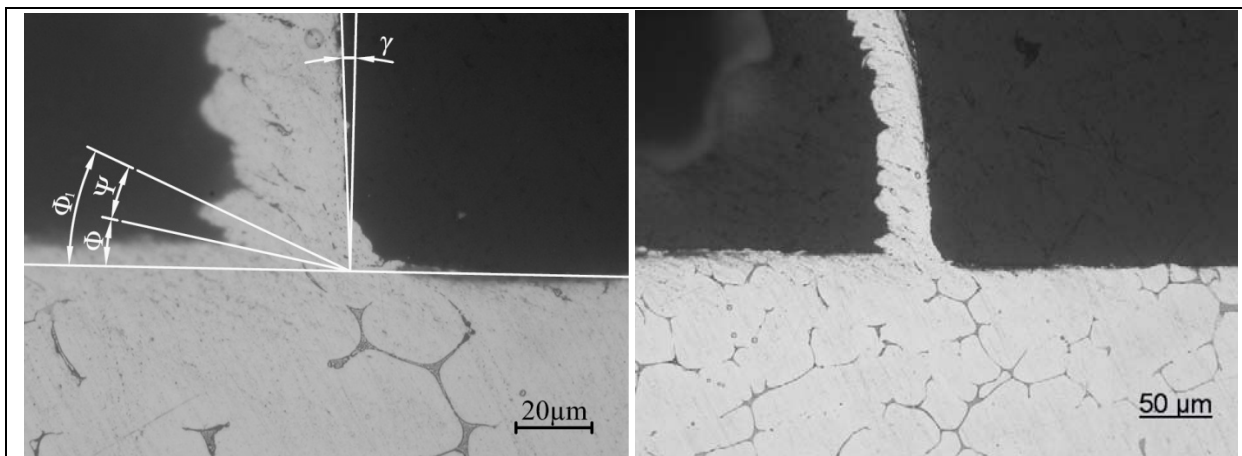
Sl. 47. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 17.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,61$ | $\varepsilon_1 = 2,294$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,99$ | $\varepsilon_2 = -0,696$ | Grudni ugao $\gamma = 0^\circ$ |
| $e_1 = 10,849$ | $\delta_1 = 1,19$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 21^\circ$ |
| $e_2 = 0,092$ | $\delta_2 = -1,19$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 20^\circ$ |

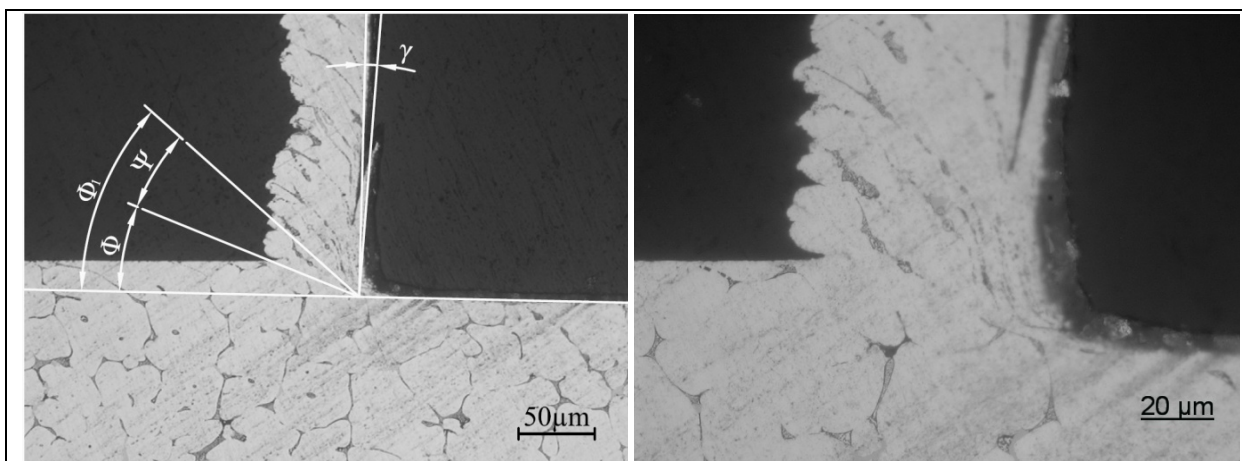
Sl. 48. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 18.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 5,09$ | $\varepsilon_1 = 4,576$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 5,40$ | $\varepsilon_2 = -0,821$ | Grudni ugao $\gamma = -3^\circ$ |
| $e_1 = 31,089$ | $\delta_1 = 1,72$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 11^\circ$ |
| $e_2 = 0,032$ | $\delta_2 = -1,72$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 13^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

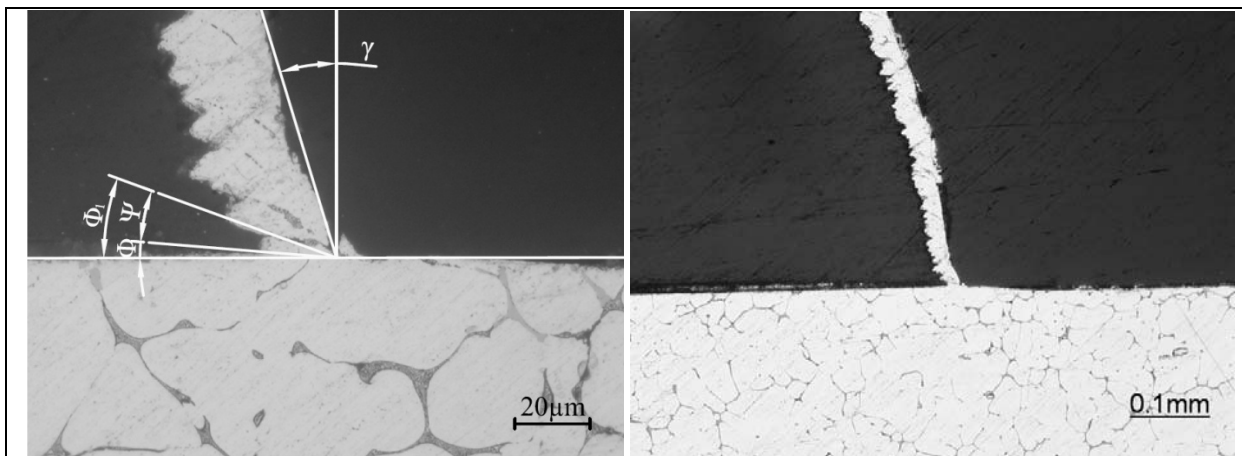
Sl. 49. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 19.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,66$ | $\varepsilon_1 = 2,240$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 2,93$ | $\varepsilon_2 = -0,691$ | Grudni ugao $\gamma = 3^\circ$ |
| $e_1 = 10,497$ | $\delta_1 = 1,18$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 21^\circ$ |
| $e_2 = 0,095$ | $\delta_2 = -1,18$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 20^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

Sl. 50. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 20.

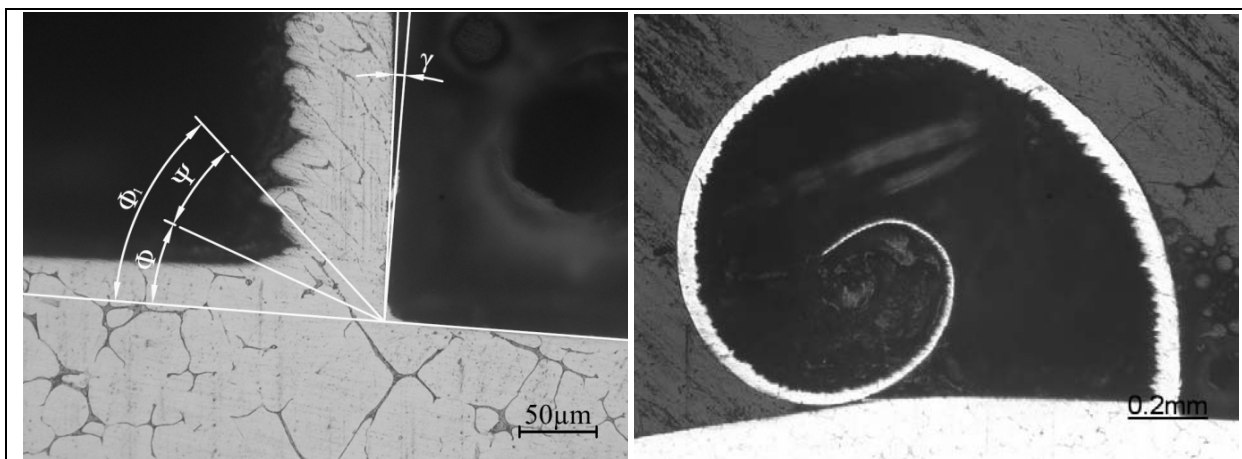


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|-------------------|--------------------------|
| $\lambda = 10,64$ | $\varepsilon_1 = 10,924$ |
| $g_k = 11,84$ | $\varepsilon_2 = -0,916$ |
| $e_1 = 142,171$ | $\delta_1 = 2,48$ |
| $e_2 = 0,007$ | $\delta_2 = -2,48$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|----------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -17^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 5^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 15^\circ$ |

Sl. 51. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 21.

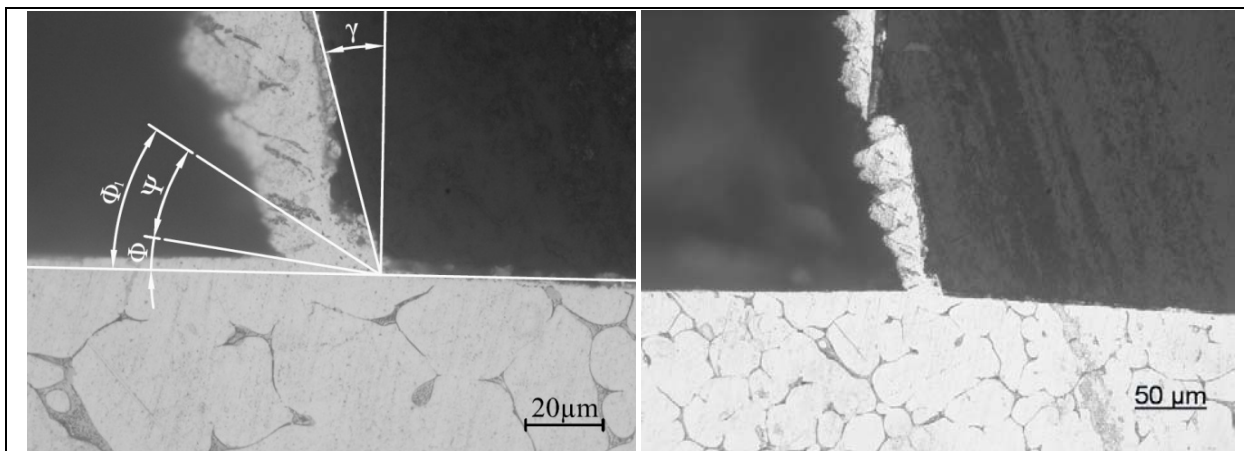


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 2,71$ | $\varepsilon_1 = 2,443$ |
| $g_k = 3,15$ | $\varepsilon_2 = -0,710$ |
| $e_1 = 11,856$ | $\delta_1 = 1,24$ |
| $e_2 = 0,084$ | $\delta_2 = -1,24$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -2^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 20^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 23^\circ$ |

Sl. 52. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 22.

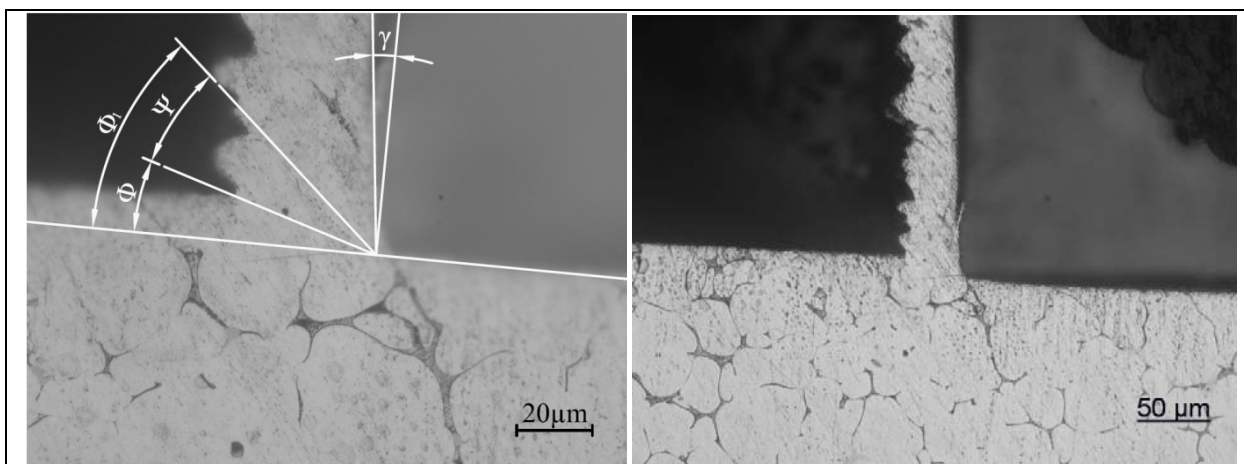


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 6,62$ | $\varepsilon_1 = 6,674$ |
| $g_k = 7,54$ | $\varepsilon_2 = -0,870$ |
| $e_1 = 58,884$ | $\delta_1 = 2,04$ |
| $e_2 = 0,017$ | $\delta_2 = -2,04$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|----------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -15^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 8^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 24^\circ$ |

Sl. 53. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 23.

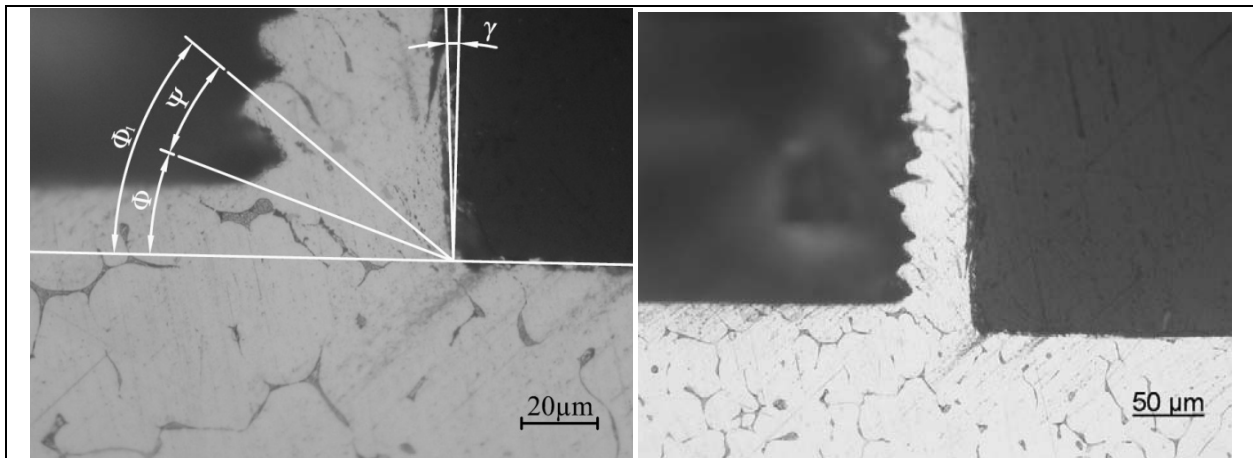


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 3,15$ | $\varepsilon_1 = 2,950$ |
| $g_k = 3,70$ | $\varepsilon_2 = -0,747$ |
| $e_1 = 15,603$ | $\delta_1 = 1,37$ |
| $e_2 = 0,064$ | $\delta_2 = -1,37$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -6^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 17^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 25^\circ$ |

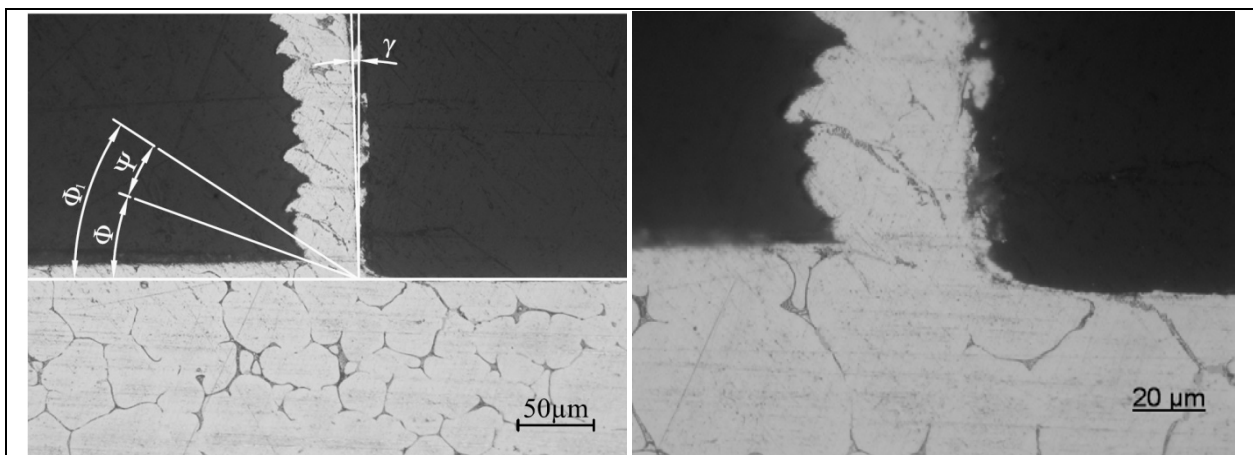
Sl. 54. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 24.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,69$ | $\varepsilon_1 = 2,462$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 3,17$ | $\varepsilon_2 = -0,711$ | Grudni ugao $\gamma = -3^\circ$ |
| $e_1 = 11,986$ | $\delta_1 = 1,24$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 20^\circ$ |
| $e_2 = 0,083$ | $\delta_2 = -1,24$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 19^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

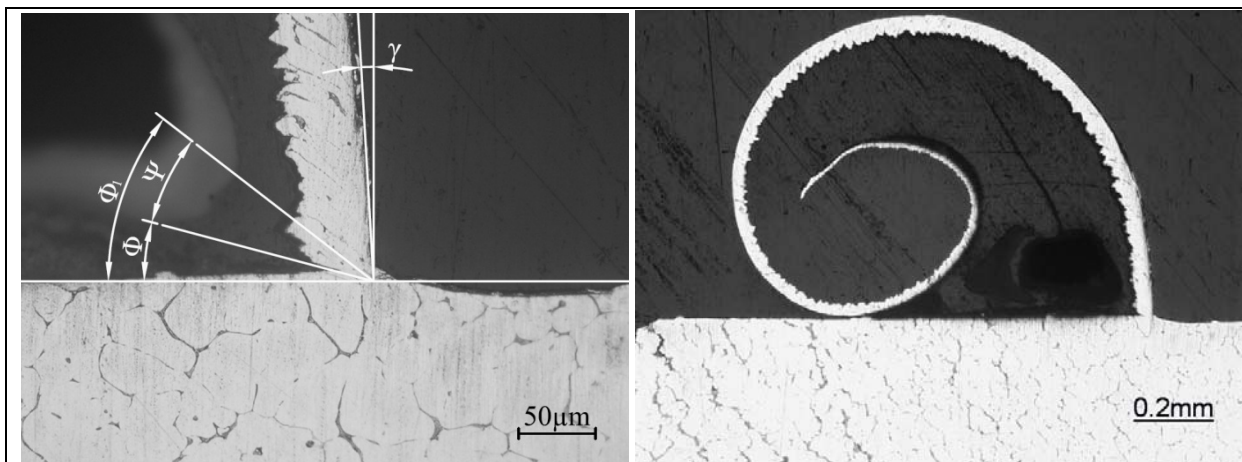
Sl. 55. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 1.dodatni.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,71$ | $\varepsilon_1 = 2,443$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 3,15$ | $\varepsilon_2 = -0,710$ | Grudni ugao $\gamma = -2^\circ$ |
| $e_1 = 11,856$ | $\delta_1 = 1,24$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 20^\circ$ |
| $e_2 = 0,084$ | $\delta_2 = -1,24$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 13^\circ$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

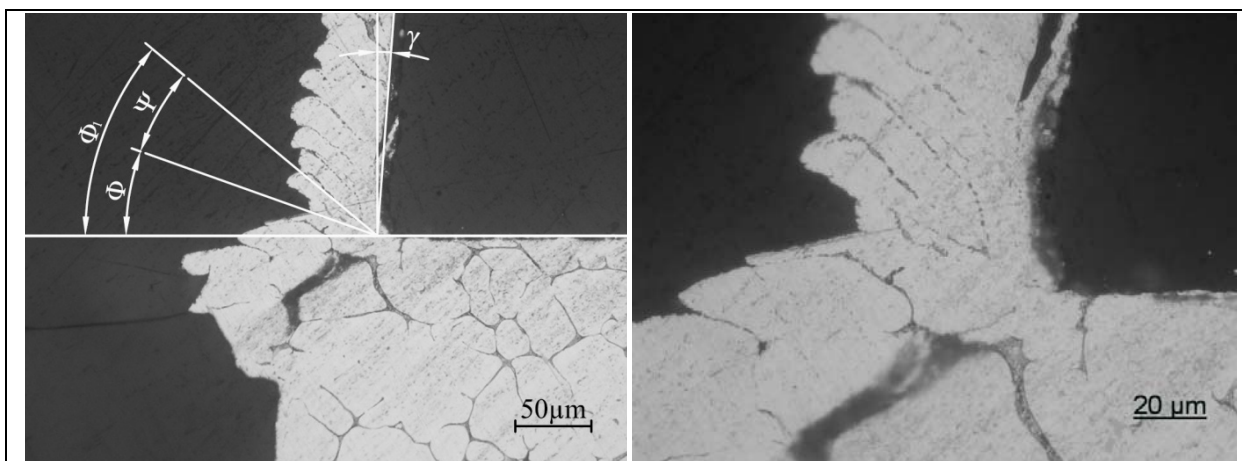
Sl. 56. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 2.dodatni.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 3,68$ | $\varepsilon_1 = 3,292$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 4,06$ | $\varepsilon_2 = -0,767$ | Grudni ugao $\gamma = -3^\circ$ |
| $e_1 = 18,419$ | $\delta_1 = 1,46$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 15^\circ$ |
| $e_2 = 0,054$ | $\delta_2 = -1,46$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 23^\circ$ |

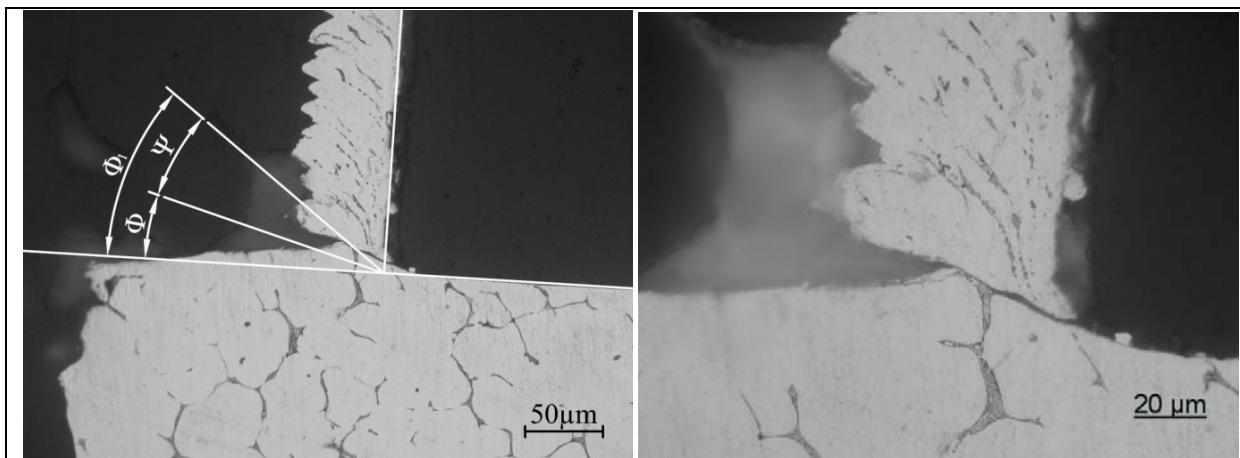
Sl. 57. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 3.dodatni.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | | |
|------------------|--------------------------|---|
| $\lambda = 2,81$ | $\varepsilon_1 = 2,335$ | • Sa metalografskog snimka su dobijeni: |
| $g_k = 3,04$ | $\varepsilon_2 = -0,700$ | Grudni ugao $\gamma = 4^\circ$ |
| $e_1 = 11,125$ | $\delta_1 = 1,20$ | Ugao ravni smicanja $\Phi = 20^\circ$ |
| $e_2 = 0,090$ | $\delta_2 = -1,20$ | Ugao nagiba teksture zrna $\Psi = 20^\circ$ |

Sl. 58. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 4.dodatni.

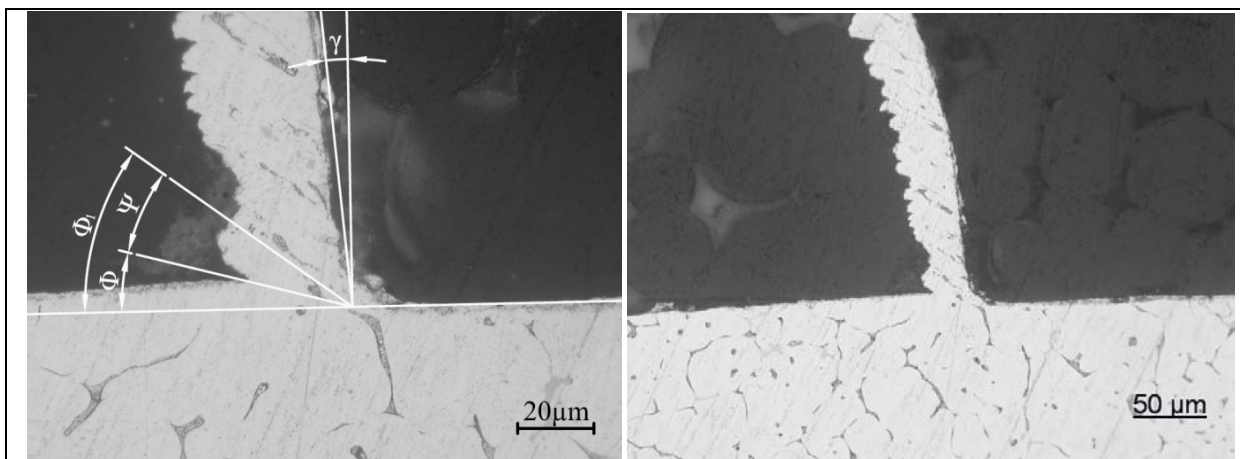


- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 3,49$ | $\varepsilon_1 = 3,024$ |
| $g_k = 3,78$ | $\varepsilon_2 = -0,752$ |
| $e_1 = 16,195$ | $\delta_1 = 1,39$ |
| $e_2 = 0,062$ | $\delta_2 = -1,39$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = 0^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 16^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 21^\circ$ |

Sl. 59. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 5.dodatni.



- Materijal obratka: Legura aluminijuma 7075-SSM
- Parametri plastične deformacije strugotine:

| | |
|------------------|--------------------------|
| $\lambda = 3,66$ | $\varepsilon_1 = 3,310$ |
| $g_k = 4,08$ | $\varepsilon_2 = -0,768$ |
| $e_1 = 18,578$ | $\delta_1 = 1,46$ |
| $e_2 = 0,054$ | $\delta_2 = -1,46$ |
- Sa metalografskog snimka su dobijeni:

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Grudni ugao | $\gamma = -4^\circ$ |
| Ugao ravni smicanja | $\Phi = 15^\circ$ |
| Ugao nagiba teksture zrna | $\Psi = 21^\circ$ |

Sl. 60. Mikroskopski snimak zone razanja - uzorak pri režimu obrade br 6.dodatni.

PRILOG 3. Faktorini planovi eksperimenta

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI GLAVNE SILE REZANJA OD REŽIMA OBRADE PRI GLOĐANJU

MODEL BEZ MEĐUSOBNIH UTICAJA

| Nivoi faktora: | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | v (m/s) | s (mm/z) | a (mm) | F_g (N) | y | x_{-y} | x_{-y} | x_{-y} | x_{-y} | $(y-y)^2$ | F_g (N) | F_g (N) | F_g (N) | F_g (N) |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Nivo (kod) | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,112 | 0,75 | 113 | 4,67239 | -4,72739 | -4,72739 | -4,72739 | -4,72739 | 0,00324 | 106,75 | 100,90 | 112,92 | 112,92 |
| Gornji (-sqr(2)) | 5,86 | 0,223 | 2,6 | -1,00 | 4,71 | 0,112 | 0,75 | 108 | 4,68213 | -4,68213 | -4,68213 | -4,68213 | -4,68213 | 0,00001 | 107,62 | 101,73 | 113,85 | 113,85 |
| Srednje (gornji (+1)) | 4,71 | 0,177 | 1,72 | -1,00 | 2,93 | 0,177 | 0,75 | 148 | 4,99721 | -4,99721 | -4,99721 | -4,99721 | -4,99721 | 0,00066 | 151,84 | 143,54 | 160,63 | 160,63 |
| Srednji (0) | 3,71 | 0,141 | 1,14 | -1,00 | 2,93 | 0,141 | 0,75 | 160 | 5,07517 | -5,07517 | -5,07517 | -5,07517 | -5,07517 | 0,00195 | 153,09 | 144,71 | 161,95 | 161,95 |
| Srednje (donji (-1)) | 2,93 | 0,112 | 0,75 | 1,00 | 2,93 | 0,112 | 1,72 | 251 | 5,52545 | -5,52545 | -5,52545 | -5,52545 | -5,52545 | 0,00115 | 259,64 | 245,43 | 274,67 | 274,67 |
| Donji (-sqr(2)) | 2,35 | 0,089 | 0,5 | 1,00 | 2,93 | 0,112 | 1,72 | 238 | 5,47227 | -5,47227 | -5,47227 | -5,47227 | -5,47227 | 0,00096 | 261,76 | 247,44 | 276,92 | 276,92 |
| 1 | 1,00 | -1,00 | 1,00 | 1,00 | 4,71 | 0,177 | 1,72 | 342 | 5,86079 | -5,86079 | -5,86079 | -5,86079 | -5,86079 | 0,00259 | 369,33 | 349,13 | 390,71 | 390,71 |
| 2 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 493 | 5,83481 | -5,83481 | -5,83481 | -5,83481 | -5,83481 | 0,00170 | 372,36 | 351,98 | 393,91 | 393,91 |
| 3 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 493 | 5,26269 | -5,26269 | -5,26269 | -5,26269 | -5,26269 | 0,00105 | 200,38 | 194,20 | 204,67 | 204,67 |
| 4 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 284 | 5,31812 | -5,31812 | -5,31812 | -5,31812 | -5,31812 | 0,00053 | 200,38 | 184,20 | 204,67 | 204,67 |
| 5 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 284 | 5,31812 | -5,31812 | -5,31812 | -5,31812 | -5,31812 | 0,00053 | 200,38 | 184,20 | 204,67 | 204,67 |
| 6 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 200 | 5,29832 | -5,29832 | -5,29832 | -5,29832 | -5,29832 | 0,00008 | 196,81 | 184,93 | 212,47 | 212,47 |
| 7 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 161 | 5,34711 | -5,34711 | -5,34711 | -5,34711 | -5,34711 | 0,00091 | 201,96 | 187,07 | 214,93 | 214,93 |
| 8 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 260 | 5,08740 | -5,08740 | -5,08740 | -5,08740 | -5,08740 | 0,00026 | 140,60 | 144,97 | 166,56 | 166,56 |
| 9 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 102 | 4,62497 | -4,62497 | -4,62497 | -4,62497 | -4,62497 | 0,00074 | 82,90 | 99,21 | 113,98 | 113,98 |
| 10 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 392 | 5,97226 | -5,97226 | -5,97226 | -5,97226 | -5,97226 | 0,00227 | 484,51 | 348,71 | 400,64 | 400,64 |
| 11 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 196 | 5,27811 | -5,27811 | -5,27811 | -5,27811 | -5,27811 | 0,00013 | 196,81 | 184,93 | 212,47 | 212,47 |
| 12 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 202 | 5,30827 | -5,30827 | -5,30827 | -5,30827 | -5,30827 | 0,00005 | 201,96 | 187,07 | 214,93 | 214,93 |
| 13 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 152 | 5,02388 | -5,02388 | -5,02388 | -5,02388 | -5,02388 | 0,00049 | 140,60 | 144,97 | 166,56 | 166,56 |
| 14 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 264 | 5,57595 | -5,57595 | -5,57595 | -5,57595 | -5,57595 | 0,00000 | 285,20 | 238,63 | 274,17 | 274,17 |
| 15 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 100 | 4,60517 | -4,60517 | -4,60517 | -4,60517 | -4,60517 | 0,00000 | 82,90 | 99,21 | 113,98 | 113,98 |
| 16 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 410 | 6,01616 | -6,01616 | -6,01616 | -6,01616 | -6,01616 | 0,00856 | 484,51 | 348,71 | 400,64 | 400,64 |
| 17 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 410 | 127,08356 | -127,08356 | -127,08356 | -127,08356 | -127,08356 | 0,00610 | 2,81928 | 7,11079 | 7,11079 | 7,11079 |

Plan matrice eksperimenta:

| Red. Br.: | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | v (m/s) | s (mm/z) | a (mm) | F_g (N) | y | x_{-y} | x_{-y} | x_{-y} | x_{-y} | $(y-y)^2$ | F_g (N) | F_g (N) | F_g (N) | F_g (N) |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,112 | 0,75 | 113 | 4,67239 | -4,72739 | -4,72739 | -4,72739 | -4,72739 | 0,00324 | 106,75 | 100,90 | 112,92 | 112,92 |
| 2 | 1,00 | 0,223 | 2,6 | -1,00 | 4,71 | 0,112 | 0,75 | 108 | 4,68213 | -4,68213 | -4,68213 | -4,68213 | -4,68213 | 0,00001 | 107,62 | 101,73 | 113,85 | 113,85 |
| 3 | 1,00 | 0,177 | 1,72 | -1,00 | 2,93 | 0,177 | 0,75 | 148 | 4,99721 | -4,99721 | -4,99721 | -4,99721 | -4,99721 | 0,00066 | 151,84 | 143,54 | 160,63 | 160,63 |
| 4 | 1,00 | 0,141 | 1,14 | -1,00 | 2,93 | 0,141 | 0,75 | 160 | 5,07517 | -5,07517 | -5,07517 | -5,07517 | -5,07517 | 0,00195 | 153,09 | 144,71 | 161,95 | 161,95 |
| 5 | 1,00 | 0,112 | 0,75 | 1,00 | 2,93 | 0,112 | 1,72 | 251 | 5,52545 | -5,52545 | -5,52545 | -5,52545 | -5,52545 | 0,00115 | 259,64 | 245,43 | 274,67 | 274,67 |
| 6 | 1,00 | 0,089 | 0,5 | 1,00 | 2,93 | 0,112 | 1,72 | 238 | 5,47227 | -5,47227 | -5,47227 | -5,47227 | -5,47227 | 0,00096 | 261,76 | 247,44 | 276,92 | 276,92 |
| 7 | 1,00 | -1,00 | 1,00 | 1,00 | 4,71 | 0,177 | 1,72 | 342 | 5,86079 | -5,86079 | -5,86079 | -5,86079 | -5,86079 | 0,00259 | 369,33 | 349,13 | 390,71 | 390,71 |
| 8 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 493 | 5,83481 | -5,83481 | -5,83481 | -5,83481 | -5,83481 | 0,00170 | 372,36 | 351,98 | 393,91 | 393,91 |
| 9 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 493 | 5,26269 | -5,26269 | -5,26269 | -5,26269 | -5,26269 | 0,00105 | 200,38 | 194,20 | 204,67 | 204,67 |
| 10 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 284 | 5,31812 | -5,31812 | -5,31812 | -5,31812 | -5,31812 | 0,00053 | 200,38 | 184,20 | 204,67 | 204,67 |
| 11 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 284 | 5,31812 | -5,31812 | -5,31812 | -5,31812 | -5,31812 | 0,00053 | 200,38 | 184,20 | 204,67 | 204,67 |
| 12 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 200 | 5,29832 | -5,29832 | -5,29832 | -5,29832 | -5,29832 | 0,00008 | 196,81 | 184,93 | 212,47 | 212,47 |
| 13 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 161 | 5,34711 | -5,34711 | -5,34711 | -5,34711 | -5,34711 | 0,00091 | 201,96 | 187,07 | 214,93 | 214,93 |
| 14 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 161 | 5,34711 | -5,34711 | -5,34711 | -5,34711 | -5,34711 | 0,00091 | 201,96 | 187,07 | 214,93 | 214,93 |
| 15 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 260 | 5,08740 | -5,08740 | -5,08740 | -5,08740 | -5,08740 | 0,00026 | 140,60 | 144,97 | 166,56 | 166,56 |
| 16 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 102 | 4,62497 | -4,62497 | -4,62497 | -4,62497 | -4,62497 | 0,00074 | 82,90 | 99,21 | 113,98 | 113,98 |
| 17 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 392 | 5,97226 | -5,97226 | -5,97226 | -5,97226 | -5,97226 | 0,00227 | 484,51 | 348,71 | 400,64 | 400,64 |
| 18 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 196 | 5,27811 | -5,27811 | -5,27811 | -5,27811 | -5,27811 | 0,00013 | 196,81 | 184,93 | 212,47 | 212,47 |
| 19 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 202 | 5,30827 | -5,30827 | -5,30827 | -5,30827 | -5,30827 | 0,00005 | 201,96 | 187,07 | 214,93 | 214,93 |
| 20 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 152 | 5,02388 | -5,02388 | -5,02388 | -5,02388 | -5,02388 | 0,00049 | 140,60 | 144,97 | 166,56 | 166,56 |
| 21 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 264 | 5,57595 | -5,57595 | -5,57595 | -5,57595 | -5,57595 | 0,00000 | 285,20 | 238,63 | 274,17 | 274,17 |
| 22 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 100 | 4,60517 | -4,60517 | -4,60517 | -4,60517 | -4,60517 | 0,00000 | 82,90 | 99,21 | 113,98 | 113,98 |
| 23 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 410 | 6,01616 | -6,01616 | -6,01616 | -6,01616 | -6,01616 | 0,00856 | 484,51 | 348,71 | 400,64 | 400,64 |
| 24 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 410 | 127,08356 | -127,08356 | -127,08356 | -127,08356 | -127,08356 | 0,00610 | 2,81928 | 7,11079 | 7,11079 | 7,11079 |

Faktori b

| b_0 | b_1 | b_2 | b_3 |
|---------|---------|---------|---------|
| 5,29515 | 0,00407 | 0,17621 | 0,44442 |

Rezidualna suma:

| S_R | f_R | s_R^2 |
|---------|-------|---------|
| 0,05027 | 14 | 0,00359 |

Greška eksperimenta:

| y_{gr} | S_{EA} | S_{EB} | S_E | f_E | s_E^2 |
|----------|----------|----------|---------|-------|---------|
| 5,30426 | 0,00230 | 0,00197 | 0,00427 | 5 | 0,00085 |

Adekvatnost modela:

| s_1^2 | f_s | F_s |
|---------|-------|---------|
| 0,00329 | 9 | 3,84638 |

Dekodiranje matematičkog modela:

| p_0 | p_1 | p_2 | p_3 |
|---------|---------|---------|---------|
| 6,64589 | 0,01717 | 0,70004 | 1,07089 |

Ocena tačnosti:

| S_{b0} | < |
|----------|---|
|----------|---|

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI SILE PRODIRANJA OD REŽIMA OBRADE PRI GLODANJU

MODEL BEZ MEĐUSOBNIH UTICAJA

| Nivoi faktora: | v (m/s) | s (mm/z) | x_1 | x_2 | x_3 | k | 3 | Materijal pločice: | TM K20 |
|--------------------|-----------|------------|-------|-------|-------|-------|-----|--------------------|------------|
| Nivo (kod) | 5,86 | 0,223 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | N | 24 | Materijal: | AI 7075 KL |
| Gornji (+sqrt(2)) | 4,71 | 0,177 | 1,72 | | | n_k | 4 | Vreme rezanja: | 20 sek |
| Srednji (0) | 3,71 | 0,141 | 1,14 | | | | | Prečnik obradka: | 100 mm |
| Srednje donji (-1) | 2,93 | 0,112 | 0,75 | | | | | | |
| Donji (-sqrt(2)) | 2,35 | 0,089 | 0,5 | | | | | | |

Plan matrice eksperimenta:

| Red. Br.: | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | v (m/s) | s (mm/z) | a (mm) | F_p (N) | y | $x_{x,y}$ | $x_{x,y}$ | $x_{x,y}$ | $x_{x,y}$ | $(y-\hat{y})^2$ | F_p rad. (N) | F_p min (N) | F_p max (N) |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|----------------|---------------|---------------|
| 1 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,112 | 0,75 | 92 | 4,52179 | -4,52179 | -4,52179 | -4,52179 | -4,52179 | 0,00028 | 90,47 | 79,70 | 102,69 |
| 2 | 1,00 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,112 | 0,75 | 87 | 4,46591 | -4,46591 | -4,46591 | -4,46591 | -4,46591 | 0,00001 | 87,32 | 76,93 | 99,12 |
| 3 | 1,00 | -1,00 | 1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,177 | 0,75 | 120 | 4,78749 | -4,78749 | -4,78749 | -4,78749 | -4,78749 | 0,00512 | 128,90 | 113,56 | 146,31 |
| 4 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,177 | 0,75 | 131 | 4,87520 | -4,87520 | -4,87520 | -4,87520 | -4,87520 | 0,00266 | 124,42 | 109,61 | 141,22 |
| 5 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | 1,00 | 2,93 | 0,112 | 1,72 | 219 | 5,39907 | -5,39907 | -5,39907 | -5,39907 | -5,39907 | 0,00196 | 209,51 | 184,58 | 237,81 |
| 6 | 1,00 | 1,00 | -1,00 | 1,00 | 4,71 | 0,112 | 1,72 | 138 | 4,92775 | -4,92775 | -4,92775 | -4,92775 | -4,92775 | 0,14602 | 202,23 | 178,16 | 229,54 |
| 7 | 1,00 | -1,00 | 1,00 | 1,00 | 2,93 | 0,177 | 1,72 | 281 | 5,63835 | -5,63835 | -5,63835 | -5,63835 | -5,63835 | 0,00365 | 298,51 | 262,99 | 338,82 |
| 8 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 4,71 | 0,177 | 1,72 | 273 | 5,69947 | -5,69947 | -5,69947 | -5,69947 | -5,69947 | 0,00291 | 288,13 | 263,84 | 327,04 |
| 9 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 163 | 5,09375 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00009 | 162,25 | 152,19 | 171,27 |
| 10 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 170 | 5,13680 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00266 | 162,25 | 152,19 | 171,27 |
| 11 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 165 | 5,10595 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00047 | 162,25 | 152,19 | 171,27 |
| 12 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 165 | 5,03044 | -7,14411 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00621 | 167,87 | 141,59 | 193,54 |
| 13 | 1,00 | 1,41 | 0,00 | 0,00 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 168 | 5,12386 | 7,24638 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00420 | 156,82 | 134,68 | 184,10 |
| 14 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 132 | 4,83280 | 0,00000 | -8,99532 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00239 | 113,66 | 107,51 | 146,96 |
| 15 | 1,00 | 0,00 | 1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 189 | 5,24715 | 0,00000 | 7,47295 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00681 | 231,31 | 177,37 | 242,45 |
| 16 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 85 | 4,44285 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00228 | 70,48 | 76,26 | 104,24 |
| 17 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 360 | 5,88610 | 0,00000 | 8,32427 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00330 | 373,66 | 250,07 | 347,82 |
| 18 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 160 | 5,07517 | -7,17738 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00176 | 167,87 | 141,59 | 193,54 |
| 19 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 160 | 5,10595 | 7,22090 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00176 | 156,82 | 134,68 | 184,10 |
| 20 | 1,00 | 1,41 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 130 | 4,86753 | 0,00000 | -8,88373 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00173 | 113,66 | 107,51 | 146,96 |
| 21 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 216 | 5,37528 | 0,00000 | 7,60179 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00166 | 231,31 | 177,37 | 242,45 |
| 22 | 1,00 | 0,00 | 1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 94 | 4,54329 | 0,00000 | -6,42519 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00280 | 70,48 | 76,26 | 104,24 |
| 23 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 327 | 5,78996 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,01253 | 373,66 | 250,07 | 347,82 |
| 24 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 327 | 122,02087 | -0,28309 | 2,83218 | 0,00000 | 0,00000 | 0,01253 | 373,66 | 250,07 | 347,82 |

Faktori b

| b ₀ | 5,08420 |
|----------------|----------|
| b ₁ | -0,01769 |
| b ₂ | 0,17701 |
| b ₃ | 0,41989 |

Dekodiranje matematičkog modela:

| A ₁ | 4,21332 | S _{b0} | 620,3789 |
|----------------|----------|-----------------|----------|
| A ₂ | 4,37014 | S _{b1} | 0,0050 |
| A ₃ | 2,40982 | S _{b2} | 0,5013 |
| a ₁ | -5,52933 | S _{b3} | 2,8209 |
| a ₂ | 8,56736 | | |
| a ₃ | -0,30680 | | |

MMV(X<X>)

| x ₀ | x ₁ | x ₂ | x ₃ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| x ₀ | 2 | 0 | 0 |
| x ₁ | 0 | 3 | 0 |
| x ₂ | 0 | 0 | 3 |
| x ₃ | 0 | 0 | 3 |

Faktor

48

Rezidualna suma:

| S _R | 0,25478 |
|----------------|---------|
| F _R | 14 |
| s _R | 0,01620 |

Ocena tačnosti:

| P ₀ | 6,56973 | S _{b0} | 620,3789 |
|----------------|----------|-----------------|----------|
| P ₁ | -0,07455 | S _{b1} | 0,0050 |
| P ₂ | 0,77366 | S _{b2} | 0,5013 |
| P ₃ | 1,01176 | S _{b3} | 2,8209 |

F_{R1} < F_T - "v" nije uticajna na F_p

F_{R2} > F_T - "s₁" je uticajna na F_p

F_{R3} > F_T - "a" je uticajna na F_p

Greška eksperimenta:

| f _{sr} | 5,11036 |
|-----------------|---------|
| SEA | 0,00096 |
| SEB | 0,00994 |
| SE | 0,01090 |
| f _E | 5 |
| s _E | 0,00218 |

za ocenu adekvatnosti

za ocenu uticaja parametara

Standardna devijacija:

| σ ₀ ² | 0,00349 |
|-----------------------------|---------|
| σ ₀ | 0,00076 |
| σ ₁ | 0,00631 |

za prvih osam članova eksperimenta

za drugih četiri člana eksperimenta

za preostalih dvanaest članova eksperimenta

Adekvatnost modela:

| s ₂ ² | 0,01742 |
|-----------------------------|---------|
| f ₂ | 9 |
| F ₂ | 7,98979 |

F₂ > F_T - model nije adekvatan

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI TEMPERATURE U ZONI REZANJA OD REŽIMA OBRADE PRI GLOĐANJU
 MODEL SA MEBUSOBNIM UTICAJEM

Nivoi faktora:

| Nivo (kodi) | v (mm/s) | s (mm/s ²) | a (mm) |
|---------------|----------|------------------------|--------|
| 5,86 | 0,223 | 2,6 | |
| 4,71 | 0,177 | 1,72 | |
| Srednji (n=1) | 3,71 | 0,141 | 1,14 |
| Srednji (0) | 2,83 | 0,112 | 0,75 |
| Dolji (n=2) | 2,35 | 0,089 | 0,5 |

| k | 3 |
|----------------|----|
| n | 24 |
| n ₀ | 4 |
| K ₀ | 7 |

Manjeval pločice: TM K20
 Materijal: Al 7075 KL
 Vretna rezanja: 20 sek
 Prečni obradba: 100 mm

Plan matrice eksperimenta:

| Red. Br. | k ₀ | s ₁ | s ₂ | s ₃ | s ₄ | s ₅ | s ₆ | s ₇ | s ₈ | s ₉ | s ₁₀ | s ₁₁ | s ₁₂ | s ₁₃ | s ₁₄ | s ₁₅ | s ₁₆ | s ₁₇ | s ₁₈ | s ₁₉ | s ₂₀ | s ₂₁ | s ₂₂ | s ₂₃ | s ₂₄ | s ₂₅ | s ₂₆ | s ₂₇ | s ₂₈ | s ₂₉ | s ₃₀ | s ₃₁ | s ₃₂ | s ₃₃ | s ₃₄ | s ₃₅ | s ₃₆ | s ₃₇ | s ₃₈ | s ₃₉ | s ₄₀ | s ₄₁ | s ₄₂ | s ₄₃ | s ₄₄ | s ₄₅ | s ₄₆ | s ₄₇ | s ₄₈ | s ₄₉ | s ₅₀ | s ₅₁ | s ₅₂ | s ₅₃ | s ₅₄ | s ₅₅ | s ₅₆ | s ₅₇ | s ₅₈ | s ₅₉ | s ₆₀ | s ₆₁ | s ₆₂ | s ₆₃ | s ₆₄ | s ₆₅ | s ₆₆ | s ₆₇ | s ₆₈ | s ₆₉ | s ₇₀ | s ₇₁ | s ₇₂ | s ₇₃ | s ₇₄ | s ₇₅ | s ₇₆ | s ₇₇ | s ₇₈ | s ₇₉ | s ₈₀ | s ₈₁ | s ₈₂ | s ₈₃ | s ₈₄ | s ₈₅ | s ₈₆ | s ₈₇ | s ₈₈ | s ₈₉ | s ₉₀ | s ₉₁ | s ₉₂ | s ₉₃ | s ₉₄ | s ₉₅ | s ₉₆ | s ₉₇ | s ₉₈ | s ₉₉ | s ₁₀₀ | s ₁₀₁ | s ₁₀₂ | s ₁₀₃ | s ₁₀₄ | s ₁₀₅ | s ₁₀₆ | s ₁₀₇ | s ₁₀₈ | s ₁₀₉ | s ₁₁₀ | s ₁₁₁ | s ₁₁₂ | s ₁₁₃ | s ₁₁₄ | s ₁₁₅ | s ₁₁₆ | s ₁₁₇ | s ₁₁₈ | s ₁₁₉ | s ₁₂₀ | s ₁₂₁ | s ₁₂₂ | s ₁₂₃ | s ₁₂₄ | s ₁₂₅ | s ₁₂₆ | s ₁₂₇ | s ₁₂₈ | s ₁₂₉ | s ₁₃₀ | s ₁₃₁ | s ₁₃₂ | s ₁₃₃ | s ₁₃₄ | s ₁₃₅ | s ₁₃₆ | s ₁₃₇ | s ₁₃₈ | s ₁₃₉ | s ₁₄₀ | s ₁₄₁ | s ₁₄₂ | s ₁₄₃ | s ₁₄₄ | s ₁₄₅ | s ₁₄₆ | s ₁₄₇ | s ₁₄₈ | s ₁₄₉ | s ₁₅₀ | s ₁₅₁ | s ₁₅₂ | s ₁₅₃ | s ₁₅₄ | s ₁₅₅ | s ₁₅₆ | s ₁₅₇ | s ₁₅₈ | s ₁₅₉ | s ₁₆₀ | s ₁₆₁ | s ₁₆₂ | s ₁₆₃ | s ₁₆₄ | s ₁₆₅ | s ₁₆₆ | s ₁₆₇ | s ₁₆₈ | s ₁₆₉ | s ₁₇₀ | s ₁₇₁ | s ₁₇₂ | s ₁₇₃ | s ₁₇₄ | s ₁₇₅ | s ₁₇₆ | s ₁₇₇ | s ₁₇₈ | s ₁₇₉ | s ₁₈₀ | s ₁₈₁ | s ₁₈₂ | s ₁₈₃ | s ₁₈₄ | s ₁₈₅ | s ₁₈₆ | s ₁₈₇ | s ₁₈₈ | s ₁₈₉ | s ₁₉₀ | s ₁₉₁ | s ₁₉₂ | s ₁₉₃ | s ₁₉₄ | s ₁₉₅ | s ₁₉₆ | s ₁₉₇ | s ₁₉₈ | s ₁₉₉ | s ₂₀₀ | s ₂₀₁ | s ₂₀₂ | s ₂₀₃ | s ₂₀₄ | s ₂₀₅ | s ₂₀₆ | s ₂₀₇ | s ₂₀₈ | s ₂₀₉ | s ₂₁₀ | s ₂₁₁ | s ₂₁₂ | s ₂₁₃ | s ₂₁₄ | s ₂₁₅ | s ₂₁₆ | s ₂₁₇ | s ₂₁₈ | s ₂₁₉ | s ₂₂₀ | s ₂₂₁ | s ₂₂₂ | s ₂₂₃ | s ₂₂₄ | s ₂₂₅ | s ₂₂₆ | s ₂₂₇ | s ₂₂₈ | s ₂₂₉ | s ₂₃₀ | s ₂₃₁ | s ₂₃₂ | s ₂₃₃ | s ₂₃₄ | s ₂₃₅ | s ₂₃₆ | s ₂₃₇ | s ₂₃₈ | s ₂₃₉ | s ₂₄₀ | s ₂₄₁ | s ₂₄₂ | s ₂₄₃ | s ₂₄₄ | s ₂₄₅ | s ₂₄₆ | s ₂₄₇ | s ₂₄₈ | s ₂₄₉ | s ₂₅₀ | s ₂₅₁ | s ₂₅₂ | s ₂₅₃ | s ₂₅₄ | s ₂₅₅ | s ₂₅₆ | s ₂₅₇ | s ₂₅₈ | s ₂₅₉ | s ₂₆₀ | s ₂₆₁ | s ₂₆₂ | s ₂₆₃ | s ₂₆₄ | s ₂₆₅ | s ₂₆₆ | s ₂₆₇ | s ₂₆₈ | s ₂₆₉ | s ₂₇₀ | s ₂₇₁ | s ₂₇₂ | s ₂₇₃ | s ₂₇₄ | s ₂₇₅ | s ₂₇₆ | s ₂₇₇ | s ₂₇₈ | s ₂₇₉ | s ₂₈₀ | s ₂₈₁ | s ₂₈₂ | s ₂₈₃ | s ₂₈₄ | s ₂₈₅ | s ₂₈₆ | s ₂₈₇ | s ₂₈₈ | s ₂₈₉ | s ₂₉₀ | s ₂₉₁ | s ₂₉₂ | s ₂₉₃ | s ₂₉₄ | s ₂₉₅ | s ₂₉₆ | s ₂₉₇ | s ₂₉₈ | s ₂₉₉ | s ₃₀₀ | s ₃₀₁ | s ₃₀₂ | s ₃₀₃ | s ₃₀₄ | s ₃₀₅ | s ₃₀₆ | s ₃₀₇ | s ₃₀₈ | s ₃₀₉ | s ₃₁₀ | s ₃₁₁ | s ₃₁₂ | s ₃₁₃ | s ₃₁₄ | s ₃₁₅ | s ₃₁₆ | s ₃₁₇ | s ₃₁₈ | s ₃₁₉ | s ₃₂₀ | s ₃₂₁ | s ₃₂₂ | s ₃₂₃ | s ₃₂₄ | s ₃₂₅ | s ₃₂₆ | s ₃₂₇ | s ₃₂₈ | s ₃₂₉ | s ₃₃₀ | s ₃₃₁ | s ₃₃₂ | s ₃₃₃ | s ₃₃₄ | s ₃₃₅ | s ₃₃₆ | s ₃₃₇ | s ₃₃₈ | s ₃₃₉ | s ₃₄₀ | s ₃₄₁ | s ₃₄₂ | s ₃₄₃ | s ₃₄₄ | s ₃₄₅ | s ₃₄₆ | s ₃₄₇ | s ₃₄₈ | s ₃₄₉ | s ₃₅₀ | s ₃₅₁ | s ₃₅₂ | s ₃₅₃ | s ₃₅₄ | s ₃₅₅ | s ₃₅₆ | s ₃₅₇ | s ₃₅₈ | s ₃₅₉ | s ₃₆₀ | s ₃₆₁ | s ₃₆₂ | s ₃₆₃ | s ₃₆₄ | s ₃₆₅ | s ₃₆₆ | s ₃₆₇ | s ₃₆₈ | s ₃₆₉ | s ₃₇₀ | s ₃₇₁ | s ₃₇₂ | s ₃₇₃ | s ₃₇₄ | s ₃₇₅ | s ₃₇₆ | s ₃₇₇ | s ₃₇₈ | s ₃₇₉ | s ₃₈₀ | s ₃₈₁ | s ₃₈₂ | s ₃₈₃ | s ₃₈₄ | s ₃₈₅ | s ₃₈₆ | s ₃₈₇ | s ₃₈₈ | s ₃₈₉ | s ₃₉₀ | s ₃₉₁ | s ₃₉₂ | s ₃₉₃ | s ₃₉₄ | s ₃₉₅ | s ₃₉₆ | s ₃₉₇ | s ₃₉₈ | s ₃₉₉ | s ₄₀₀ | s ₄₀₁ | s ₄₀₂ | s ₄₀₃ | s ₄₀₄ | s ₄₀₅ | s ₄₀₆ | s ₄₀₇ | s ₄₀₈ | s ₄₀₉ | s ₄₁₀ | s ₄₁₁ | s ₄₁₂ | s ₄₁₃ | s ₄₁₄ | s ₄₁₅ | s ₄₁₆ | s ₄₁₇ | s ₄₁₈ | s ₄₁₉ | s ₄₂₀ | s ₄₂₁ | s ₄₂₂ | s ₄₂₃ | s ₄₂₄ | s ₄₂₅ | s ₄₂₆ | s ₄₂₇ | s ₄₂₈ | s ₄₂₉ | s ₄₃₀ | s ₄₃₁ | s ₄₃₂ | s ₄₃₃ | s ₄₃₄ | s ₄₃₅ | s ₄₃₆ | s ₄₃₇ | s ₄₃₈ | s ₄₃₉ | s ₄₄₀ | s ₄₄₁ | s ₄₄₂ | s ₄₄₃ | s ₄₄₄ | s ₄₄₅ | s ₄₄₆ | s ₄₄₇ | s ₄₄₈ | s ₄₄₉ | s ₄₅₀ | s ₄₅₁ | s ₄₅₂ | s ₄₅₃ | s ₄₅₄ | s ₄₅₅ | s ₄₅₆ | s ₄₅₇ | s ₄₅₈ | s ₄₅₉ | s ₄₆₀ | s ₄₆₁ | s ₄₆₂ | s ₄₆₃ | s ₄₆₄ | s ₄₆₅ | s ₄₆₆ | s ₄₆₇ | s ₄₆₈ | s ₄₆₉ | s ₄₇₀ | s ₄₇₁ | s ₄₇₂ | s ₄₇₃ | s ₄₇₄ | s ₄₇₅ | s ₄₇₆ | s ₄₇₇ | s ₄₇₈ | s ₄₇₉ | s ₄₈₀ | s ₄₈₁ | s ₄₈₂ | s ₄₈₃ | s ₄₈₄ | s ₄₈₅ | s ₄₈₆ | s ₄₈₇ | s ₄₈₈ | s ₄₈₉ | s ₄₉₀ | s ₄₉₁ | s ₄₉₂ | s ₄₉₃ | s ₄₉₄ | s ₄₉₅ | s ₄₉₆ | s ₄₉₇ | s ₄₉₈ | s ₄₉₉ | s ₅₀₀ | s ₅₀₁ | s ₅₀₂ | s ₅₀₃ | s ₅₀₄ | s ₅₀₅ | s ₅₀₆ | s ₅₀₇ | s ₅₀₈ | s ₅₀₉ | s ₅₁₀ | s ₅₁₁ | s ₅₁₂ | s ₅₁₃ | s ₅₁₄ | s ₅₁₅ | s ₅₁₆ | s ₅₁₇ | s ₅₁₈ | s ₅₁₉ | s ₅₂₀ | s ₅₂₁ | s ₅₂₂ | s ₅₂₃ | s ₅₂₄ | s ₅₂₅ | s ₅₂₆ | s ₅₂₇ | s ₅₂₈ | s ₅₂₉ | s ₅₃₀ | s ₅₃₁ | s ₅₃₂ | s ₅₃₃ | s ₅₃₄ | s ₅₃₅ | s ₅₃₆ | s ₅₃₇ | s ₅₃₈ | s ₅₃₉ | s ₅₄₀ | s ₅₄₁ | s ₅₄₂ | s ₅₄₃ | s ₅₄₄ | s ₅₄₅ | s ₅₄₆ | s ₅₄₇ | s ₅₄₈ | s ₅₄₉ | s ₅₅₀ | s ₅₅₁ | s ₅₅₂ | s ₅₅₃ | s ₅₅₄ | s ₅₅₅ | s ₅₅₆ | s ₅₅₇ | s ₅₅₈ | s ₅₅₉ | s ₅₆₀ | s ₅₆₁ | s ₅₆₂ | s ₅₆₃ | s ₅₆₄ | s ₅₆₅ | s ₅₆₆ | s ₅₆₇ | s ₅₆₈ | s ₅₆₉ | s ₅₇₀ | s ₅₇₁ | s ₅₇₂ | s ₅₇₃ | s ₅₇₄ | s ₅₇₅ | s ₅₇₆ | s ₅₇₇ | s ₅₇₈ | s ₅₇₉ | s ₅₈₀ | s ₅₈₁ | s ₅₈₂ | s ₅₈₃ | s ₅₈₄ | s ₅₈₅ | s ₅₈₆ | s ₅₈₇ | s ₅₈₈ | s ₅₈₉ | s ₅₉₀ | s ₅₉₁ | s ₅₉₂ | s ₅₉₃ | s ₅₉₄ | s ₅₉₅ | s ₅₉₆ | s ₅₉₇ | s ₅₉₈ | s ₅₉₉ | s ₆₀₀ | s ₆₀₁ | s ₆₀₂ | s ₆₀₃ | s ₆₀₄ | s ₆₀₅ | s ₆₀₆ | s ₆₀₇ | s ₆₀₈ | s ₆₀₉ | s ₆₁₀ | s ₆₁₁ | s ₆₁₂ | s ₆₁₃ | s ₆₁₄ | s ₆₁₅ | s ₆₁₆ | s ₆₁₇ | s ₆₁₈ | s ₆₁₉ | s ₆₂₀ | s ₆₂₁ | s ₆₂₂ | s ₆₂₃ | s ₆₂₄ | s ₆₂₅ | s ₆₂₆ | s ₆₂₇ | s ₆₂₈ | s ₆₂₉ | s ₆₃₀ | s ₆₃₁ | s ₆₃₂ | s ₆₃₃ | s ₆₃₄ | s ₆₃₅ | s ₆₃₆ | s ₆₃₇ | s ₆₃₈ | s ₆₃₉ | s ₆₄₀ | s ₆₄₁ | s ₆₄₂ | s ₆₄₃ | s ₆₄₄ | s ₆₄₅ | s ₆₄₆ | s ₆₄₇ | s ₆₄₈ | s ₆₄₉ | s ₆₅₀ | s ₆₅₁ | s ₆₅₂ | s ₆₅₃ | s ₆₅₄ | s ₆₅₅ | s ₆₅₆ | s ₆₅₇ | s ₆₅₈ | s ₆₅₉ | s ₆₆₀ | s ₆₆₁ | s ₆₆₂ | s ₆₆₃ | s ₆₆₄ | s ₆₆₅ | s ₆₆₆ | s ₆₆₇ | s ₆₆₈ | s ₆₆₉ | s ₆₇₀ | s ₆₇₁ | s ₆₇₂ | s ₆₇₃ | s ₆₇₄ | s ₆₇₅ | s ₆₇₆ | s ₆₇₇ | s ₆₇₈ | s ₆₇₉ | s ₆₈₀ | s ₆₈₁ | s ₆₈₂ | s ₆₈₃ | s ₆₈₄ | s ₆₈₅ | s ₆₈₆ | s ₆₈₇ | s ₆₈₈ | s ₆₈₉ | s ₆₉₀ | s ₆₉₁ | s ₆₉₂ | s ₆₉₃ | s ₆₉₄ | s ₆₉₅ | s ₆₉₆ | s ₆₉₇ | s ₆₉₈ | s ₆₉₉ | s ₇₀₀ | s ₇₀₁ | s ₇₀₂ | s ₇₀₃ | s ₇₀₄ | s ₇₀₅ | s ₇₀₆ | s ₇₀₇ | s ₇₀₈ | s ₇₀₉ | s ₇₁₀ | s ₇₁₁ | s ₇₁₂ | s ₇₁₃ | s ₇₁₄ | s ₇₁₅ | s ₇₁₆ | s ₇₁₇ | s ₇₁₈ | s ₇₁₉ | s ₇₂₀ | s ₇₂₁ | s ₇₂₂ | s ₇₂₃ | s ₇₂₄ | s ₇₂₅ | s ₇₂₆ | s ₇₂₇ | s ₇₂₈ | s ₇₂₉ | s ₇₃₀ | s ₇₃₁ | s ₇₃₂ | s ₇₃₃ | s ₇₃₄ | s ₇₃₅ | s ₇₃₆ | s ₇₃₇ | s ₇₃₈ | s ₇₃₉ | s ₇₄₀ | s ₇₄₁ | s ₇₄₂ | s ₇₄₃ | s ₇₄₄ | s ₇₄₅ | s ₇₄₆ | s ₇₄₇ | s ₇₄₈ | s ₇₄₉ | s ₇₅₀ | s ₇₅₁ | s ₇₅₂ | s ₇₅₃ | s ₇₅₄ | s ₇₅₅ | s ₇₅₆ | s ₇₅₇ | s ₇₅₈ | s ₇₅₉ | s ₇₆₀ | s ₇₆₁ | s ₇₆₂ | s ₇₆₃ | s ₇₆₄ | s ₇₆₅ | s ₇₆₆ | s ₇₆₇ | s ₇₆₈ | s ₇₆₉ | s ₇₇₀ | s ₇₇₁ | s ₇₇₂ | s ₇₇₃ | s ₇₇₄ | s ₇₇₅ | s ₇₇₆ | s ₇₇₇ | s ₇₇₈ | s ₇₇₉ | s ₇₈₀ | s ₇₈₁ | s ₇₈₂ | s ₇₈₃ | s ₇₈₄ | s ₇₈₅ | s ₇₈₆ | s ₇₈₇ | s ₇₈₈ | s ₇₈₉ | s ₇₉₀ | s ₇₉₁ | s ₇₉₂ | s ₇₉₃ | s ₇₉₄ | s ₇₉₅ | s ₇₉₆ | s ₇₉₇ | s ₇₉₈ | s ₇₉₉ | s ₈₀₀ | s ₈₀₁ | s ₈₀₂ | s ₈₀₃ | s ₈₀₄ | s ₈₀₅ | s ₈₀₆ | s ₈₀₇ | s ₈₀₈ | s ₈₀₉ | s ₈₁₀ | s ₈₁₁ | s ₈₁₂ | s ₈₁₃ | s ₈₁₄ | s ₈₁₅ | s ₈₁₆ | s ₈₁₇ | s ₈₁₈ | s ₈₁₉ | s ₈₂₀ | s ₈₂₁ | s ₈₂₂ | s ₈₂₃ | s ₈₂₄ | s ₈₂₅ | s ₈₂₆ | s ₈₂₇ | s ₈₂₈ | s ₈₂₉ | s ₈₃₀ | s ₈₃₁ | s ₈₃₂ | s ₈₃₃ | s ₈₃₄ | s ₈₃₅ | s ₈₃₆ | s |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI SREDNJE ARITMETIČKE HRPAVOSTI OD REŽIMA OBRADE PRI GLOĐANJU

MODEL SA MENJUSOBNIM UTICAJEM

| Mnogi faktori: | v (m/s) | s (mm/z) | a (mm) |
|---------------------|-----------|------------|----------|
| Nivo (nol) | 5,95 | 0,222 | 2,5 |
| Govilj (gov(2)) | 4,71 | 0,177 | 1,72 |
| Srednje govilj (s1) | 3,71 | 0,141 | 1,14 |
| Srednje dovij (s1) | 2,83 | 0,112 | 0,75 |
| Dovij (gov(2)) | 2,35 | 0,089 | 0,5 |

Materijal: phodice: TM K20
AI 1205 AL
Vremje rezanja: 20 sek
Prečnik obradke: 100 mm

k 3
n 24
n_s 4
K_s 7

Plan matrice eksperimenta:

| Red. Br. | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} | x_{16} | x_{17} | x_{18} | x_{19} | x_{20} | x_{21} | x_{22} | x_{23} | x_{24} | x_{25} | x_{26} | x_{27} | x_{28} | x_{29} | x_{30} | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} | x_{36} | x_{37} | x_{38} | x_{39} | x_{40} | x_{41} | x_{42} | x_{43} | x_{44} | x_{45} | x_{46} | x_{47} | x_{48} | x_{49} | x_{50} | x_{51} | x_{52} | x_{53} | x_{54} | x_{55} | x_{56} | x_{57} | x_{58} | x_{59} | x_{60} | x_{61} | x_{62} | x_{63} | x_{64} | x_{65} | x_{66} | x_{67} | x_{68} | x_{69} | x_{70} | x_{71} | x_{72} | x_{73} | x_{74} | x_{75} | x_{76} | x_{77} | x_{78} | x_{79} | x_{80} | x_{81} | x_{82} | x_{83} | x_{84} | x_{85} | x_{86} | x_{87} | x_{88} | x_{89} | x_{90} | x_{91} | x_{92} | x_{93} | x_{94} | x_{95} | x_{96} | x_{97} | x_{98} | x_{99} | x_{100} | x_{101} | x_{102} | x_{103} | x_{104} | x_{105} | x_{106} | x_{107} | x_{108} | x_{109} | x_{110} | x_{111} | x_{112} | x_{113} | x_{114} | x_{115} | x_{116} | x_{117} | x_{118} | x_{119} | x_{120} | x_{121} | x_{122} | x_{123} | x_{124} | x_{125} | x_{126} | x_{127} | x_{128} | x_{129} | x_{130} | x_{131} | x_{132} | x_{133} | x_{134} | x_{135} | x_{136} | x_{137} | x_{138} | x_{139} | x_{140} | x_{141} | x_{142} | x_{143} | x_{144} | x_{145} | x_{146} | x_{147} | x_{148} | x_{149} | x_{150} | x_{151} | x_{152} | x_{153} | x_{154} | x_{155} | x_{156} | x_{157} | x_{158} | x_{159} | x_{160} | x_{161} | x_{162} | x_{163} | x_{164} | x_{165} | x_{166} | x_{167} | x_{168} | x_{169} | x_{170} | x_{171} | x_{172} | x_{173} | x_{174} | x_{175} | x_{176} | x_{177} | x_{178} | x_{179} | x_{180} | x_{181} | x_{182} | x_{183} | x_{184} | x_{185} | x_{186} | x_{187} | x_{188} | x_{189} | x_{190} | x_{191} | x_{192} | x_{193} | x_{194} | x_{195} | x_{196} | x_{197} | x_{198} | x_{199} | x_{200} | x_{201} | x_{202} | x_{203} | x_{204} | x_{205} | x_{206} | x_{207} | x_{208} | x_{209} | x_{210} | x_{211} | x_{212} | x_{213} | x_{214} | x_{215} | x_{216} | x_{217} | x_{218} | x_{219} | x_{220} | x_{221} | x_{222} | x_{223} | x_{224} | x_{225} | x_{226} | x_{227} | x_{228} | x_{229} | x_{230} | x_{231} | x_{232} | x_{233} | x_{234} | x_{235} | x_{236} | x_{237} | x_{238} | x_{239} | x_{240} | x_{241} | x_{242} | x_{243} | x_{244} | x_{245} | x_{246} | x_{247} | x_{248} | x_{249} | x_{250} | x_{251} | x_{252} | x_{253} | x_{254} | x_{255} | x_{256} | x_{257} | x_{258} | x_{259} | x_{260} | x_{261} | x_{262} | x_{263} | x_{264} | x_{265} | x_{266} | x_{267} | x_{268} | x_{269} | x_{270} | x_{271} | x_{272} | x_{273} | x_{274} | x_{275} | x_{276} | x_{277} | x_{278} | x_{279} | x_{280} | x_{281} | x_{282} | x_{283} | x_{284} | x_{285} | x_{286} | x_{287} | x_{288} | x_{289} | x_{290} | x_{291} | x_{292} | x_{293} | x_{294} | x_{295} | x_{296} | x_{297} | x_{298} | x_{299} | x_{300} | x_{301} | x_{302} | x_{303} | x_{304} | x_{305} | x_{306} | x_{307} | x_{308} | x_{309} | x_{310} | x_{311} | x_{312} | x_{313} | x_{314} | x_{315} | x_{316} | x_{317} | x_{318} | x_{319} | x_{320} | x_{321} | x_{322} | x_{323} | x_{324} | x_{325} | x_{326} | x_{327} | x_{328} | x_{329} | x_{330} | x_{331} | x_{332} | x_{333} | x_{334} | x_{335} | x_{336} | x_{337} | x_{338} | x_{339} | x_{340} | x_{341} | x_{342} | x_{343} | x_{344} | x_{345} | x_{346} | x_{347} | x_{348} | x_{349} | x_{350} | x_{351} | x_{352} | x_{353} | x_{354} | x_{355} | x_{356} | x_{357} | x_{358} | x_{359} | x_{360} | x_{361} | x_{362} | x_{363} | x_{364} | x_{365} | x_{366} | x_{367} | x_{368} | x_{369} | x_{370} | x_{371} | x_{372} | x_{373} | x_{374} | x_{375} | x_{376} | x_{377} | x_{378} | x_{379} | x_{380} | x_{381} | x_{382} | x_{383} | x_{384} | x_{385} | x_{386} | x_{387} | x_{388} | x_{389} | x_{390} | x_{391} | x_{392} | x_{393} | x_{394} | x_{395} | x_{396} | x_{397} | x_{398} | x_{399} | x_{400} | x_{401} | x_{402} | x_{403} | x_{404} | x_{405} | x_{406} | x_{407} | x_{408} | x_{409} | x_{410} | x_{411} | x_{412} | x_{413} | x_{414} | x_{415} | x_{416} | x_{417} | x_{418} | x_{419} | x_{420} | x_{421} | x_{422} | x_{423} | x_{424} | x_{425} | x_{426} | x_{427} | x_{428} | x_{429} | x_{430} | x_{431} | x_{432} | x_{433} | x_{434} | x_{435} | x_{436} | x_{437} | x_{438} | x_{439} | x_{440} | x_{441} | x_{442} | x_{443} | x_{444} | x_{445} | x_{446} | x_{447} | x_{448} | x_{449} | x_{450} | x_{451} | x_{452} | x_{453} | x_{454} | x_{455} | x_{456} | x_{457} | x_{458} | x_{459} | x_{460} | x_{461} | x_{462} | x_{463} | x_{464} | x_{465} | x_{466} | x_{467} | x_{468} | x_{469} | x_{470} | x_{471} | x_{472} | x_{473} | x_{474} | x_{475} | x_{476} | x_{477} | x_{478} | x_{479} | x_{480} | x_{481} | x_{482} | x_{483} | x_{484} | x_{485} | x_{486} | x_{487} | x_{488} | x_{489} | x_{490} | x_{491} | x_{492} | x_{493} | x_{494} | x_{495} | x_{496} | x_{497} | x_{498} | x_{499} | x_{500} | x_{501} | x_{502} | x_{503} | x_{504} | x_{505} | x_{506} | x_{507} | x_{508} | x_{509} | x_{510} | x_{511} | x_{512} | x_{513} | x_{514} | x_{515} | x_{516} | x_{517} | x_{518} | x_{519} | x_{520} | x_{521} | x_{522} | x_{523} | x_{524} | x_{525} | x_{526} | x_{527} | x_{528} | x_{529} | x_{530} | x_{531} | x_{532} | x_{533} | x_{534} | x_{535} | x_{536} | x_{537} | x_{538} | x_{539} | x_{540} | x_{541} | x_{542} | x_{543} | x_{544} | x_{545} | x_{546} | x_{547} | x_{548} | x_{549} | x_{550} | x_{551} | x_{552} | x_{553} | x_{554} | x_{555} | x_{556} | x_{557} | x_{558} | x_{559} | x_{560} | x_{561} | x_{562} | x_{563} | x_{564} | x_{565} | x_{566} | x_{567} | x_{568} | x_{569} | x_{570} | x_{571} | x_{572} | x_{573} | x_{574} | x_{575} | x_{576} | x_{577} | x_{578} | x_{579} | x_{580} | x_{581} | x_{582} | x_{583} | x_{584} | x_{585} | x_{586} | x_{587} | x_{588} | x_{589} | x_{590} | x_{591} | x_{592} | x_{593} | x_{594} | x_{595} | x_{596} | x_{597} | x_{598} | x_{599} | x_{600} | x_{601} | x_{602} | x_{603} | x_{604} | x_{605} | x_{606} | x_{607} | x_{608} | x_{609} | x_{610} | x_{611} | x_{612} | x_{613} | x_{614} | x_{615} | x_{616} | x_{617} | x_{618} | x_{619} | x_{620} | x_{621} | x_{622} | x_{623} | x_{624} | x_{625} | x_{626} | x_{627} | x_{628} | x_{629} | x_{630} | x_{631} | x_{632} | x_{633} | x_{634} | x_{635} | x_{636} | x_{637} | x_{638} | x_{639} | x_{640} | x_{641} | x_{642} | x_{643} | x_{644} | x_{645} | x_{646} | x_{647} | x_{648} | x_{649} | x_{650} | x_{651} | x_{652} | x_{653} | x_{654} | x_{655} | x_{656} | x_{657} | x_{658} | x_{659} | x_{660} | x_{661} | x_{662} | x_{663} | x_{664} | x_{665} | x_{666} | x_{667} | x_{668} | x_{669} | x_{670} | x_{671} | x_{672} | x_{673} | x_{674} | x_{675} | x_{676} | x_{677} | x_{678} | x_{679} | x_{680} | x_{681} | x_{682} | x_{683} | x_{684} | x_{685} | x_{686} | x_{687} | x_{688} | x_{689} | x_{690} | x_{691} | x_{692} | x_{693} | x_{694} | x_{695} | x_{696} | x_{697} | x_{698} | x_{699} | x_{700} | x_{701} | x_{702} | x_{703} | x_{704} | x_{705} | x_{706} | x_{707} | x_{708} | x_{709} | x_{710} | x_{711} | x_{712} | x_{713} | x_{714} | x_{715} | x_{716} | x_{717} | x_{718} | x_{719} | x_{720} | x_{721} | x_{722} | x_{723} | x_{724} | x_{725} | x_{726} | x_{727} | x_{728} | x_{729} | x_{730} | x_{731} | x_{732} | x_{733} | x_{734} | x_{735} | x_{736} | x_{737} | x_{738} | x_{739} | x_{740} | x_{741} | x_{742} | x_{743} | x_{744} | x_{745} | x_{746} | x_{747} | x_{748} | x_{749} | x_{750} | x_{751} | x_{752} | x_{753} | x_{754} | x_{755} | x_{756} | x_{757} | x_{758} | x_{759} | x_{760} | x_{761} | x_{762} | x_{763} | x_{764} | x_{765} | x_{766} | x_{767} | x_{768} | x_{769} | x_{770} | x_{771} | x_{772} | x_{773} | x_{774} | x_{775} | x_{776} | x_{777} | x_{778} | x_{779} | x_{780} | x_{781} | x_{782} | x_{783} | x_{784} | x_{785} | x_{786} | x_{787} | x_{788} | x_{789} | x_{790} | x_{791} | x_{792} | x_{793} | x_{794} | x_{795} | x_{796} | x_{797} | x_{798} | x_{799} | x_{800} | x_{801} | x_{802} | x_{803} | x_{804} | x_{805} | x_{806} | x_{807} | x_{808} | x_{809} | x_{810} | x_{811} | x_{812} | x_{813} | x_{814} | x_{815} | x_{816} | x_{817} | x_{818} | x_{819} | x_{820} | x_{821} | x_{822} | x_{823} | x_{824} | x_{825} | x_{826} | x_{827} | x_{828} | x_{829} | x_{830} | x_{831} | x_{832} | x_{833} | x_{834} | x_{835} | x_{836} | x_{837} | x_{838} | x_{839} | x |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI UGLA NAGIBA TEKSTURE ZRNA OD REŽIMA OBRADE PRI GLODANJU

MODEL BEZ MEDUSOBNIH UTICAJA

| Nivoi faktora: | v (m/s) | s (mm/z) | δ (mm) | k | n | n_p | Material pločice: | Material: | Vreme rezanja: | Prečnik obradka: |
|---------------------|-----------|------------|---------------|-----|-----|-------|-------------------|------------|----------------|------------------|
| Nivo (kod) | 5,86 | 0,223 | 2,6 | 3 | | | TM K20 | AI 7075 KL | 20 sek | 100 mm |
| Gornji (+sqrt(2)) | 4,71 | 0,177 | 1,72 | | 24 | | | | | |
| Srednje gornji (+1) | 3,71 | 0,141 | 1,14 | | | 4 | | | | |
| Srednji (0) | 2,93 | 0,112 | 0,75 | | | | | | | |
| Srednje donji (-1) | 2,35 | 0,089 | 0,5 | | | | | | | |
| Donji (-sqrt(2)) | | | | | | | | | | |

Plan matrice experimenta:

| Red. Br.: | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | v (m/s) | s_1 (mm/z) | δ (mm) | ψ (°) | y | x_{x_1} | x_{x_2} | x_{x_3} | $(y-\hat{y})^2$ | $\Psi_{\text{rač}}$ (°) | Ψ_{min} (°) | Ψ_{max} (°) | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------------|---------------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|
| 1 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,112 | 0,75 | 21 | 3,04452 | -3,04452 | -3,04452 | -3,04452 | 0,39685 | 11,81 | 5,63 | 22,23 | |
| 2 | 1,00 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,177 | 0,75 | 6 | 1,79176 | -1,79176 | -1,79176 | -1,79176 | 2,45228 | 11,81 | 5,84 | 23,09 | |
| 3 | 1,00 | -1,00 | 1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,177 | 0,75 | 6 | 1,79176 | -1,79176 | -1,79176 | -1,79176 | 0,09198 | 8,13 | 4,09 | 16,15 | |
| 4 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,177 | 0,75 | 4 | 1,38629 | 1,38629 | 1,38629 | 1,38629 | 2,13276 | 8,44 | 4,25 | 16,77 | |
| 5 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | 1,00 | 2,93 | 0,112 | 1,72 | 15 | 2,70805 | -2,70805 | -2,70805 | -2,70805 | 0,55720 | 13,56 | 6,82 | 26,96 | |
| 6 | 1,00 | 1,00 | -1,00 | 1,00 | 4,71 | 0,112 | 1,72 | 11 | 2,39790 | -2,39790 | -2,39790 | -2,39790 | 0,06116 | 14,09 | 7,09 | 28,00 | |
| 7 | 1,00 | -1,00 | 1,00 | 1,00 | 2,93 | 0,177 | 1,72 | 4 | 1,38629 | 1,38629 | 1,38629 | 1,38629 | 2,28796 | 9,85 | 4,96 | 19,59 | |
| 8 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 4,71 | 0,177 | 1,72 | 20 | 2,99573 | 2,99573 | 2,99573 | 2,99573 | 0,44898 | 10,23 | 5,15 | 20,34 | |
| 9 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 6 | 1,79176 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 2,37012 | 10,70 | 7,17 | 14,74 | |
| 10 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 4 | 1,38629 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,86791 | 10,70 | 7,17 | 14,74 | |
| 11 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 8 | 2,07944 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 2,37012 | 10,70 | 7,17 | 14,74 | |
| 12 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 26 | 3,26810 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,78851 | 10,70 | 7,17 | 14,74 | |
| 13 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 11 | 2,39790 | -3,39144 | 0,00000 | 0,00000 | 2,34346 | 10,31 | 4,46 | 24,31 | |
| 14 | 1,00 | 1,41 | 0,00 | 0,00 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 27 | 3,29584 | 4,68102 | 0,00000 | 0,00000 | 0,80829 | 11,09 | 4,71 | 25,64 | |
| 15 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 10 | 2,94444 | 0,00000 | -4,16407 | 0,00000 | 0,12137 | 14,75 | 5,15 | 31,30 | |
| 16 | 1,00 | 0,00 | 1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 8 | 2,07944 | 0,00000 | 2,94077 | 0,00000 | 0,00419 | 17,17 | 3,66 | 19,92 | |
| 17 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 11 | 2,39790 | 0,00000 | 0,00000 | -3,39114 | 2,72371 | 0,09586 | 8,93 | 4,00 | 21,76 |
| 18 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 13 | 2,56495 | 0,00000 | 0,00000 | 3,67739 | 2,50653 | 0,00341 | 12,96 | 5,28 | 26,02 |
| 19 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 20 | 2,99573 | -4,23061 | 0,00000 | 2,34346 | 0,42847 | 10,31 | 4,46 | 24,31 | |
| 20 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 13 | 2,56495 | 3,62739 | 0,00000 | 2,39679 | 0,02828 | 11,09 | 4,71 | 25,64 | |
| 21 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 10 | 2,39790 | -3,25635 | 0,00000 | 2,59065 | 0,06612 | 14,75 | 5,15 | 31,30 | |
| 22 | 1,00 | 0,00 | 1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 21 | 3,04452 | 0,00000 | 4,30560 | 0,00000 | 2,14478 | 8,777 | 3,66 | 19,92 | |
| 23 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 9 | 2,19722 | 0,00000 | -3,10734 | 2,23271 | 0,00133 | 8,83 | 4,00 | 21,78 | |
| 24 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 8 | 2,07944 | 0,00000 | 2,94077 | 2,50653 | 0,18240 | 12,96 | 5,28 | 26,02 | |
| | | | | | | | | | 56,86281 | 0,30172 | -2,55618 | 1,54332 | | | | | |

Faktor b

| Dekodiranje matematičkog modela: | p_0 | p_1 | p_2 | p_3 |
|----------------------------------|----------|----------|--------|--------|
| A_1 | 4,21332 | | | |
| A_2 | 4,37014 | 134,8169 | | |
| A_3 | 2,40962 | 0,07945 | 0,0057 | |
| a_1 | -5,52933 | -0,69818 | 0,4084 | 0,1489 |
| a_2 | 8,56736 | | | |
| a_3 | -0,30680 | | | |

Ocena tačnosti:

| S_{ra} | S_{br} | S_{br} | S_{br} |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 262,25 | | | |
| 0,01 | | | |
| 0,79 | | | |
| 0,29 | | | |

Rezidualna suma:

| | |
|-----------------|---------|
| F_{ra} | 14 |
| F_{br} | 0,53517 |

Greška eksperimenta:

| | |
|-----------------|---------|
| y_{sr} | 2,12890 |
| S_{ra} | 1,94266 |
| S_{br} | 0,62774 |
| S_{E} | 2,57040 |
| F_{E} | 5 |
| s_{E} | 0,51408 |

Adekvatnost modela:

| | |
|----------------|---------|
| s_{a} | 0,36157 |
| s_{b} | 9 |
| F_{a} | 0,66388 |

$F_{\text{a}} < F_{\text{r}}$ - model je adekvatan

$F_{\text{ra}} < F_{\text{r}}$ - "v" nije uticajna na ψ
 $F_{\text{br}} < F_{\text{r}}$ - "s₁" nije uticajan na ψ
 $F_{\text{p3}} < F_{\text{r}}$ - "δ" nije uticajna na ψ

za ocenu adekvatnosti
za ocenu uticaja parametara

Standardna devijacija:
za prvih osam članova eksperimenta
za drugih četiri člana eksperimenta
za preostalih dvanaest članova eksperimenta

| INV(X**X) | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | 2 | 0 | 0 | 0 |
| | 0 | 3 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 3 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 3 |

Faktor 48

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI UGLA NAGIBA TEKSTURE ZRNIA OD REŽIMA OBRABE PRIGLADANJU
 MODEL SA MEBUSOBNIH UTICAJEM

| Nivoi faktora: | v (m/s) | s (mm ²) | δ (mm) |
|-----------------------|-----------|------------------------|---------------|
| Nivo (koef) | 5,86 | 0,223 | 2,6 |
| Gornji (srednji) | 4,71 | 0,177 | 1,72 |
| Srednje (donji (n-1)) | 3,71 | 0,141 | 1,14 |
| Srednja donji (1) | 2,53 | 0,112 | 0,76 |
| Donji (sprednji) | 2,35 | 0,089 | 0,5 |

| k | 3 |
|-------|----|
| N | 24 |
| n_0 | 4 |
| K_n | 7 |

Materijale pločice: TM K70
 Materijal: AI 10715 KL
 Vreme razanja: 20 sek
 Prečnik obradka: 100 mm

Plan matrice eksperimenta:

| Ind. Br. | k_6 | k_1 | k_2 | k_3 | k_4 | k_5 | k_6 | k_7 | k_8 | k_9 | k_{10} | k_{11} | k_{12} | k_{13} | k_{14} | k_{15} | k_{16} | k_{17} | k_{18} | k_{19} | k_{20} | k_{21} | k_{22} | k_{23} | k_{24} | γ | k_{25} | k_{26} | k_{27} | k_{28} | k_{29} | k_{30} | k_{31} | k_{32} | k_{33} | k_{34} | k_{35} | k_{36} | k_{37} | k_{38} | k_{39} | k_{40} | k_{41} | k_{42} | k_{43} | k_{44} | k_{45} | k_{46} | k_{47} | k_{48} | k_{49} | k_{50} | k_{51} | k_{52} | k_{53} | k_{54} | k_{55} | k_{56} | k_{57} | k_{58} | k_{59} | k_{60} | k_{61} | k_{62} | k_{63} | k_{64} | k_{65} | k_{66} | k_{67} | k_{68} | k_{69} | k_{70} | k_{71} | k_{72} | k_{73} | k_{74} | k_{75} | k_{76} | k_{77} | k_{78} | k_{79} | k_{80} | k_{81} | k_{82} | k_{83} | k_{84} | k_{85} | k_{86} | k_{87} | k_{88} | k_{89} | k_{90} | k_{91} | k_{92} | k_{93} | k_{94} | k_{95} | k_{96} | k_{97} | k_{98} | k_{99} | k_{100} | k_{101} | k_{102} | k_{103} | k_{104} | k_{105} | k_{106} | k_{107} | k_{108} | k_{109} | k_{110} | k_{111} | k_{112} | k_{113} | k_{114} | k_{115} | k_{116} | k_{117} | k_{118} | k_{119} | k_{120} | k_{121} | k_{122} | k_{123} | k_{124} | k_{125} | k_{126} | k_{127} | k_{128} | k_{129} | k_{130} | k_{131} | k_{132} | k_{133} | k_{134} | k_{135} | k_{136} | k_{137} | k_{138} | k_{139} | k_{140} | k_{141} | k_{142} | k_{143} | k_{144} | k_{145} | k_{146} | k_{147} | k_{148} | k_{149} | k_{150} | k_{151} | k_{152} | k_{153} | k_{154} | k_{155} | k_{156} | k_{157} | k_{158} | k_{159} | k_{160} | k_{161} | k_{162} | k_{163} | k_{164} | k_{165} | k_{166} | k_{167} | k_{168} | k_{169} | k_{170} | k_{171} | k_{172} | k_{173} | k_{174} | k_{175} | k_{176} | k_{177} | k_{178} | k_{179} | k_{180} | k_{181} | k_{182} | k_{183} | k_{184} | k_{185} | k_{186} | k_{187} | k_{188} | k_{189} | k_{190} | k_{191} | k_{192} | k_{193} | k_{194} | k_{195} | k_{196} | k_{197} | k_{198} | k_{199} | k_{200} | k_{201} | k_{202} | k_{203} | k_{204} | k_{205} | k_{206} | k_{207} | k_{208} | k_{209} | k_{210} | k_{211} | k_{212} | k_{213} | k_{214} | k_{215} | k_{216} | k_{217} | k_{218} | k_{219} | k_{220} | k_{221} | k_{222} | k_{223} | k_{224} | k_{225} | k_{226} | k_{227} | k_{228} | k_{229} | k_{230} | k_{231} | k_{232} | k_{233} | k_{234} | k_{235} | k_{236} | k_{237} | k_{238} | k_{239} | k_{240} | k_{241} | k_{242} | k_{243} | k_{244} | k_{245} | k_{246} | k_{247} | k_{248} | k_{249} | k_{250} | k_{251} | k_{252} | k_{253} | k_{254} | k_{255} | k_{256} | k_{257} | k_{258} | k_{259} | k_{260} | k_{261} | k_{262} | k_{263} | k_{264} | k_{265} | k_{266} | k_{267} | k_{268} | k_{269} | k_{270} | k_{271} | k_{272} | k_{273} | k_{274} | k_{275} | k_{276} | k_{277} | k_{278} | k_{279} | k_{280} | k_{281} | k_{282} | k_{283} | k_{284} | k_{285} | k_{286} | k_{287} | k_{288} | k_{289} | k_{290} | k_{291} | k_{292} | k_{293} | k_{294} | k_{295} | k_{296} | k_{297} | k_{298} | k_{299} | k_{300} | k_{301} | k_{302} | k_{303} | k_{304} | k_{305} | k_{306} | k_{307} | k_{308} | k_{309} | k_{310} | k_{311} | k_{312} | k_{313} | k_{314} | k_{315} | k_{316} | k_{317} | k_{318} | k_{319} | k_{320} | k_{321} | k_{322} | k_{323} | k_{324} | k_{325} | k_{326} | k_{327} | k_{328} | k_{329} | k_{330} | k_{331} | k_{332} | k_{333} | k_{334} | k_{335} | k_{336} | k_{337} | k_{338} | k_{339} | k_{340} | k_{341} | k_{342} | k_{343} | k_{344} | k_{345} | k_{346} | k_{347} | k_{348} | k_{349} | k_{350} | k_{351} | k_{352} | k_{353} | k_{354} | k_{355} | k_{356} | k_{357} | k_{358} | k_{359} | k_{360} | k_{361} | k_{362} | k_{363} | k_{364} | k_{365} | k_{366} | k_{367} | k_{368} | k_{369} | k_{370} | k_{371} | k_{372} | k_{373} | k_{374} | k_{375} | k_{376} | k_{377} | k_{378} | k_{379} | k_{380} | k_{381} | k_{382} | k_{383} | k_{384} | k_{385} | k_{386} | k_{387} | k_{388} | k_{389} | k_{390} | k_{391} | k_{392} | k_{393} | k_{394} | k_{395} | k_{396} | k_{397} | k_{398} | k_{399} | k_{400} | k_{401} | k_{402} | k_{403} | k_{404} | k_{405} | k_{406} | k_{407} | k_{408} | k_{409} | k_{410} | k_{411} | k_{412} | k_{413} | k_{414} | k_{415} | k_{416} | k_{417} | k_{418} | k_{419} | k_{420} | k_{421} | k_{422} | k_{423} | k_{424} | k_{425} | k_{426} | k_{427} | k_{428} | k_{429} | k_{430} | k_{431} | k_{432} | k_{433} | k_{434} | k_{435} | k_{436} | k_{437} | k_{438} | k_{439} | k_{440} | k_{441} | k_{442} | k_{443} | k_{444} | k_{445} | k_{446} | k_{447} | k_{448} | k_{449} | k_{450} | k_{451} | k_{452} | k_{453} | k_{454} | k_{455} | k_{456} | k_{457} | k_{458} | k_{459} | k_{460} | k_{461} | k_{462} | k_{463} | k_{464} | k_{465} | k_{466} | k_{467} | k_{468} | k_{469} | k_{470} | k_{471} | k_{472} | k_{473} | k_{474} | k_{475} | k_{476} | k_{477} | k_{478} | k_{479} | k_{480} | k_{481} | k_{482} | k_{483} | k_{484} | k_{485} | k_{486} | k_{487} | k_{488} | k_{489} | k_{490} | k_{491} | k_{492} | k_{493} | k_{494} | k_{495} | k_{496} | k_{497} | k_{498} | k_{499} | k_{500} | k_{501} | k_{502} | k_{503} | k_{504} | k_{505} | k_{506} | k_{507} | k_{508} | k_{509} | k_{510} | k_{511} | k_{512} | k_{513} | k_{514} | k_{515} | k_{516} | k_{517} | k_{518} | k_{519} | k_{520} | k_{521} | k_{522} | k_{523} | k_{524} | k_{525} | k_{526} | k_{527} | k_{528} | k_{529} | k_{530} | k_{531} | k_{532} | k_{533} | k_{534} | k_{535} | k_{536} | k_{537} | k_{538} | k_{539} | k_{540} | k_{541} | k_{542} | k_{543} | k_{544} | k_{545} | k_{546} | k_{547} | k_{548} | k_{549} | k_{550} | k_{551} | k_{552} | k_{553} | k_{554} | k_{555} | k_{556} | k_{557} | k_{558} | k_{559} | k_{560} | k_{561} | k_{562} | k_{563} | k_{564} | k_{565} | k_{566} | k_{567} | k_{568} | k_{569} | k_{570} | k_{571} | k_{572} | k_{573} | k_{574} | k_{575} | k_{576} | k_{577} | k_{578} | k_{579} | k_{580} | k_{581} | k_{582} | k_{583} | k_{584} | k_{585} | k_{586} | k_{587} | k_{588} | k_{589} | k_{590} | k_{591} | k_{592} | k_{593} | k_{594} | k_{595} | k_{596} | k_{597} | k_{598} | k_{599} | k_{600} | k_{601} | k_{602} | k_{603} | k_{604} | k_{605} | k_{606} | k_{607} | k_{608} | k_{609} | k_{610} | k_{611} | k_{612} | k_{613} | k_{614} | k_{615} | k_{616} | k_{617} | k_{618} | k_{619} | k_{620} | k_{621} | k_{622} | k_{623} | k_{624} | k_{625} | k_{626} | k_{627} | k_{628} | k_{629} | k_{630} | k_{631} | k_{632} | k_{633} | k_{634} | k_{635} | k_{636} | k_{637} | k_{638} | k_{639} | k_{640} | k_{641} | k_{642} | k_{643} | k_{644} | k_{645} | k_{646} | k_{647} | k_{648} | k_{649} | k_{650} | k_{651} | k_{652} | k_{653} | k_{654} | k_{655} | k_{656} | k_{657} | k_{658} | k_{659} | k_{660} | k_{661} | k_{662} | k_{663} | k_{664} | k_{665} | k_{666} | k_{667} | k_{668} | k_{669} | k_{670} | k_{671} | k_{672} | k_{673} | k_{674} | k_{675} | k_{676} | k_{677} | k_{678} | k_{679} | k_{680} | k_{681} | k_{682} | k_{683} | k_{684} | k_{685} | k_{686} | k_{687} | k_{688} | k_{689} | k_{690} | k_{691} | k_{692} | k_{693} | k_{694} | k_{695} | k_{696} | k_{697} | k_{698} | k_{699} | k_{700} | k_{701} | k_{702} | k_{703} | k_{704} | k_{705} | k_{706} | k_{707} | k_{708} | k_{709} | k_{710} | k_{711} | k_{712} | k_{713} | k_{714} | k_{715} | k_{716} | k_{717} | k_{718} | k_{719} | k_{720} | k_{721} | k_{722} | k_{723} | k_{724} | k_{725} | k_{726} | k_{727} | k_{728} | k_{729} | k_{730} | k_{731} | k_{732} | k_{733} | k_{734} | k_{735} | k_{736} | k_{737} | k_{738} | k_{739} | k_{740} | k_{741} | k_{742} | k_{743} | k_{744} | k_{745} | k_{746} | k_{747} | k_{748} | k_{749} | k_{750} | k_{751} | k_{752} | k_{753} | k_{754} | k_{755} | k_{756} | k_{757} | k_{758} | k_{759} | k_{760} | k_{761} | k_{762} | k_{763} | k_{764} | k_{765} | k_{766} | k_{767} | k_{768} | k_{769} | k_{770} | k_{771} | k_{772} | k_{773} | k_{774} | k_{775} | k_{776} | k_{777} | k_{778} | k_{779} | k_{780} | k_{781} | k_{782} | k_{783} | k_{784} | k_{785} | k_{786} | k_{787} | k_{788} | k_{789} | k_{790} | k_{791} | k_{792} | k_{793} | k_{794} | k_{795} | k_{796} | k_{797} | k_{798} | k_{799} | k_{800} | k_{801} | k_{802} | k_{803} | k_{804} | k_{805} | k_{806} | k_{807} | k_{808} | k_{809} | k_{810} | k_{811} | k_{812} | k_{813} | k_{814} | k_{815} | k_{816} | k_{817} | k_{818} | k_{819} | k_{820} | k_{821} | k_{822} | k_{823} | k_{824} | k_{825} | k_{826} | k_{827} | k_{828} | k_{829} | k_{830} | k_{831} | k_{832} | k_{833} | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI GLAVNE SILE REZANJA OD REŽIMA OBRABE PRI GLODANJU

MODEL SA MEBUSOBNIM UTICAJEM

| | | | |
|---------------|-----------|------------|----------|
| Nivo faktora: | v (m/s) | s (mm/2) | a (mm) |
| I | 6,86 | 0,223 | 2,6 |
| II | 4,71 | 0,177 | 1,72 |
| III | 3,71 | 0,141 | 1,14 |
| IV | 2,93 | 0,112 | 0,75 |
| V | 2,25 | 0,089 | 0,5 |

| | |
|-------|----|
| k | 3 |
| n | 24 |
| n_k | 4 |
| K_k | 7 |

Materijal pločice: TM K20
 AI 70% SSM
 Vremena rezanja: 20 sek
 Prečnik obrabca: 100 mm

Plan matrice eksperimenta:

| Red. Broj: | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} | x_{16} | x_{17} | x_{18} | x_{19} | x_{20} | x_{21} | x_{22} | x_{23} | x_{24} | x_{25} | x_{26} | x_{27} | x_{28} | x_{29} | x_{30} | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} | x_{36} | x_{37} | x_{38} | x_{39} | x_{40} | x_{41} | x_{42} | x_{43} | x_{44} | x_{45} | x_{46} | x_{47} | x_{48} | x_{49} | x_{50} | x_{51} | x_{52} | x_{53} | x_{54} | x_{55} | x_{56} | x_{57} | x_{58} | x_{59} | x_{60} | x_{61} | x_{62} | x_{63} | x_{64} | x_{65} | x_{66} | x_{67} | x_{68} | x_{69} | x_{70} | x_{71} | x_{72} | x_{73} | x_{74} | x_{75} | x_{76} | x_{77} | x_{78} | x_{79} | x_{80} | x_{81} | x_{82} | x_{83} | x_{84} | x_{85} | x_{86} | x_{87} | x_{88} | x_{89} | x_{90} | x_{91} | x_{92} | x_{93} | x_{94} | x_{95} | x_{96} | x_{97} | x_{98} | x_{99} | x_{100} | x_{101} | x_{102} | x_{103} | x_{104} | x_{105} | x_{106} | x_{107} | x_{108} | x_{109} | x_{110} | x_{111} | x_{112} | x_{113} | x_{114} | x_{115} | x_{116} | x_{117} | x_{118} | x_{119} | x_{120} | x_{121} | x_{122} | x_{123} | x_{124} | x_{125} | x_{126} | x_{127} | x_{128} | x_{129} | x_{130} | x_{131} | x_{132} | x_{133} | x_{134} | x_{135} | x_{136} | x_{137} | x_{138} | x_{139} | x_{140} | x_{141} | x_{142} | x_{143} | x_{144} | x_{145} | x_{146} | x_{147} | x_{148} | x_{149} | x_{150} | x_{151} | x_{152} | x_{153} | x_{154} | x_{155} | x_{156} | x_{157} | x_{158} | x_{159} | x_{160} | x_{161} | x_{162} | x_{163} | x_{164} | x_{165} | x_{166} | x_{167} | x_{168} | x_{169} | x_{170} | x_{171} | x_{172} | x_{173} | x_{174} | x_{175} | x_{176} | x_{177} | x_{178} | x_{179} | x_{180} | x_{181} | x_{182} | x_{183} | x_{184} | x_{185} | x_{186} | x_{187} | x_{188} | x_{189} | x_{190} | x_{191} | x_{192} | x_{193} | x_{194} | x_{195} | x_{196} | x_{197} | x_{198} | x_{199} | x_{200} | x_{201} | x_{202} | x_{203} | x_{204} | x_{205} | x_{206} | x_{207} | x_{208} | x_{209} | x_{210} | x_{211} | x_{212} | x_{213} | x_{214} | x_{215} | x_{216} | x_{217} | x_{218} | x_{219} | x_{220} | x_{221} | x_{222} | x_{223} | x_{224} | x_{225} | x_{226} | x_{227} | x_{228} | x_{229} | x_{230} | x_{231} | x_{232} | x_{233} | x_{234} | x_{235} | x_{236} | x_{237} | x_{238} | x_{239} | x_{240} | x_{241} | x_{242} | x_{243} | x_{244} | x_{245} | x_{246} | x_{247} | x_{248} | x_{249} | x_{250} | x_{251} | x_{252} | x_{253} | x_{254} | x_{255} | x_{256} | x_{257} | x_{258} | x_{259} | x_{260} | x_{261} | x_{262} | x_{263} | x_{264} | x_{265} | x_{266} | x_{267} | x_{268} | x_{269} | x_{270} | x_{271} | x_{272} | x_{273} | x_{274} | x_{275} | x_{276} | x_{277} | x_{278} | x_{279} | x_{280} | x_{281} | x_{282} | x_{283} | x_{284} | x_{285} | x_{286} | x_{287} | x_{288} | x_{289} | x_{290} | x_{291} | x_{292} | x_{293} | x_{294} | x_{295} | x_{296} | x_{297} | x_{298} | x_{299} | x_{300} | x_{301} | x_{302} | x_{303} | x_{304} | x_{305} | x_{306} | x_{307} | x_{308} | x_{309} | x_{310} | x_{311} | x_{312} | x_{313} | x_{314} | x_{315} | x_{316} | x_{317} | x_{318} | x_{319} | x_{320} | x_{321} | x_{322} | x_{323} | x_{324} | x_{325} | x_{326} | x_{327} | x_{328} | x_{329} | x_{330} | x_{331} | x_{332} | x_{333} | x_{334} | x_{335} | x_{336} | x_{337} | x_{338} | x_{339} | x_{340} | x_{341} | x_{342} | x_{343} | x_{344} | x_{345} | x_{346} | x_{347} | x_{348} | x_{349} | x_{350} | x_{351} | x_{352} | x_{353} | x_{354} | x_{355} | x_{356} | x_{357} | x_{358} | x_{359} | x_{360} | x_{361} | x_{362} | x_{363} | x_{364} | x_{365} | x_{366} | x_{367} | x_{368} | x_{369} | x_{370} | x_{371} | x_{372} | x_{373} | x_{374} | x_{375} | x_{376} | x_{377} | x_{378} | x_{379} | x_{380} | x_{381} | x_{382} | x_{383} | x_{384} | x_{385} | x_{386} | x_{387} | x_{388} | x_{389} | x_{390} | x_{391} | x_{392} | x_{393} | x_{394} | x_{395} | x_{396} | x_{397} | x_{398} | x_{399} | x_{400} | x_{401} | x_{402} | x_{403} | x_{404} | x_{405} | x_{406} | x_{407} | x_{408} | x_{409} | x_{410} | x_{411} | x_{412} | x_{413} | x_{414} | x_{415} | x_{416} | x_{417} | x_{418} | x_{419} | x_{420} | x_{421} | x_{422} | x_{423} | x_{424} | x_{425} | x_{426} | x_{427} | x_{428} | x_{429} | x_{430} | x_{431} | x_{432} | x_{433} | x_{434} | x_{435} | x_{436} | x_{437} | x_{438} | x_{439} | x_{440} | x_{441} | x_{442} | x_{443} | x_{444} | x_{445} | x_{446} | x_{447} | x_{448} | x_{449} | x_{450} | x_{451} | x_{452} | x_{453} | x_{454} | x_{455} | x_{456} | x_{457} | x_{458} | x_{459} | x_{460} | x_{461} | x_{462} | x_{463} | x_{464} | x_{465} | x_{466} | x_{467} | x_{468} | x_{469} | x_{470} | x_{471} | x_{472} | x_{473} | x_{474} | x_{475} | x_{476} | x_{477} | x_{478} | x_{479} | x_{480} | x_{481} | x_{482} | x_{483} | x_{484} | x_{485} | x_{486} | x_{487} | x_{488} | x_{489} | x_{490} | x_{491} | x_{492} | x_{493} | x_{494} | x_{495} | x_{496} | x_{497} | x_{498} | x_{499} | x_{500} | x_{501} | x_{502} | x_{503} | x_{504} | x_{505} | x_{506} | x_{507} | x_{508} | x_{509} | x_{510} | x_{511} | x_{512} | x_{513} | x_{514} | x_{515} | x_{516} | x_{517} | x_{518} | x_{519} | x_{520} | x_{521} | x_{522} | x_{523} | x_{524} | x_{525} | x_{526} | x_{527} | x_{528} | x_{529} | x_{530} | x_{531} | x_{532} | x_{533} | x_{534} | x_{535} | x_{536} | x_{537} | x_{538} | x_{539} | x_{540} | x_{541} | x_{542} | x_{543} | x_{544} | x_{545} | x_{546} | x_{547} | x_{548} | x_{549} | x_{550} | x_{551} | x_{552} | x_{553} | x_{554} | x_{555} | x_{556} | x_{557} | x_{558} | x_{559} | x_{560} | x_{561} | x_{562} | x_{563} | x_{564} | x_{565} | x_{566} | x_{567} | x_{568} | x_{569} | x_{570} | x_{571} | x_{572} | x_{573} | x_{574} | x_{575} | x_{576} | x_{577} | x_{578} | x_{579} | x_{580} | x_{581} | x_{582} | x_{583} | x_{584} | x_{585} | x_{586} | x_{587} | x_{588} | x_{589} | x_{590} | x_{591} | x_{592} | x_{593} | x_{594} | x_{595} | x_{596} | x_{597} | x_{598} | x_{599} | x_{600} | x_{601} | x_{602} | x_{603} | x_{604} | x_{605} | x_{606} | x_{607} | x_{608} | x_{609} | x_{610} | x_{611} | x_{612} | x_{613} | x_{614} | x_{615} | x_{616} | x_{617} | x_{618} | x_{619} | x_{620} | x_{621} | x_{622} | x_{623} | x_{624} | x_{625} | x_{626} | x_{627} | x_{628} | x_{629} | x_{630} | x_{631} | x_{632} | x_{633} | x_{634} | x_{635} | x_{636} | x_{637} | x_{638} | x_{639} | x_{640} | x_{641} | x_{642} | x_{643} | x_{644} | x_{645} | x_{646} | x_{647} | x_{648} | x_{649} | x_{650} | x_{651} | x_{652} | x_{653} | x_{654} | x_{655} | x_{656} | x_{657} | x_{658} | x_{659} | x_{660} | x_{661} | x_{662} | x_{663} | x_{664} | x_{665} | x_{666} | x_{667} | x_{668} | x_{669} | x_{670} | x_{671} | x_{672} | x_{673} | x_{674} | x_{675} | x_{676} | x_{677} | x_{678} | x_{679} | x_{680} | x_{681} | x_{682} | x_{683} | x_{684} | x_{685} | x_{686} | x_{687} | x_{688} | x_{689} | x_{690} | x_{691} | x_{692} | x_{693} | x_{694} | x_{695} | x_{696} | x_{697} | x_{698} | x_{699} | x_{700} | x_{701} | x_{702} | x_{703} | x_{704} | x_{705} | x_{706} | x_{707} | x_{708} | x_{709} | x_{710} | x_{711} | x_{712} | x_{713} | x_{714} | x_{715} | x_{716} | x_{717} | x_{718} | x_{719} | x_{720} | x_{721} | x_{722} | x_{723} | x_{724} | x_{725} | x_{726} | x_{727} | x_{728} | x_{729} | x_{730} | x_{731} | x_{732} | x_{733} | x_{734} | x_{735} | x_{736} | x_{737} | x_{738} | x_{739} | x_{740} | x_{741} | x_{742} | x_{743} | x_{744} | x_{745} | x_{746} | x_{747} | x_{748} | x_{749} | x_{750} | x_{751} | x_{752} | x_{753} | x_{754} | x_{755} | x_{756} | x_{757} | x_{758} | x_{759} | x_{760} | x_{761} | x_{762} | x_{763} | x_{764} | x_{765} | x_{766} | x_{767} | x_{768} | x_{769} | x_{770} | x_{771} | x_{772} | x_{773} | x_{774} | x_{775} | x_{776} | x_{777} | x_{778} | x_{779} | x_{780} | x_{781} | x_{782} | x_{783} | x_{784} | x_{785} | x_{786} | x_{787} | x_{788} | x_{789} | x_{790} | x_{791} | x_{792} | x_{793} | x_{794} | x_{795} | x_{796} | x_{797} | x_{798} | x_{799} | x_{800} | x_{801} | x_{802} | x_{803} | x_{804} | x_{805} | x_{806} | x_{807} | x_{808} | x_{809} | x_{810} | x_{811} | x_{812} | x_{813} | x_{814} | x_{815} | x_{816} | x_{817} | x_{818} | x_{819} | x_{820} | x_{821} | x_{822} | x_{823} | x_{824} | x_{825} | x_{826} | x_{827} | x_{828} | x_{829} | x_{830} | x_{831} | x_{832} | x_{833} | x_{834} | x_{835} | x_{836} | $x_{$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI SILE PRODIRANJA OD REŽIMA OBRADE PRI GLODANJU
MODEL SA MEANISORNIH UTICAJEM

| | | | | |
|---------------------|------|-----------|--------------|----------|
| Izvor faktora: | | v (m/s) | a (mmol/g) | a (mm) |
| Gornji (+sig(2)) | 5,88 | 0,222 | 2,5 | |
| Srednje gornji (+1) | 4,71 | 0,177 | 1,72 | |
| Srednje (0) | 3,71 | 0,141 | 1,14 | |
| Srednje donji (-1) | 2,93 | 0,112 | 0,75 | |
| Donji (-sig(2)) | 2,35 | 0,089 | 0,5 | |

Materijal pločice: TM K20
 Materijal: Al 7075 SSM
 Vreme rezanja: 20 sek
 Prečniik obrabke: 100 mm

| | |
|-------|----|
| k | 3 |
| n | 24 |
| m | 4 |
| K_v | 7 |

Plan matrice eksperimenata:

| Red. Br. | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} | x_{16} | x_{17} | x_{18} | x_{19} | x_{20} | x_{21} | x_{22} | x_{23} | x_{24} | x_{25} | x_{26} | x_{27} | x_{28} | x_{29} | x_{30} | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} | x_{36} | x_{37} | x_{38} | x_{39} | x_{40} | x_{41} | x_{42} | x_{43} | x_{44} | x_{45} | x_{46} | x_{47} | x_{48} | x_{49} | x_{50} | x_{51} | x_{52} | x_{53} | x_{54} | x_{55} | x_{56} | x_{57} | x_{58} | x_{59} | x_{60} | x_{61} | x_{62} | x_{63} | x_{64} | x_{65} | x_{66} | x_{67} | x_{68} | x_{69} | x_{70} | x_{71} | x_{72} | x_{73} | x_{74} | x_{75} | x_{76} | x_{77} | x_{78} | x_{79} | x_{80} | x_{81} | x_{82} | x_{83} | x_{84} | x_{85} | x_{86} | x_{87} | x_{88} | x_{89} | x_{90} | x_{91} | x_{92} | x_{93} | x_{94} | x_{95} | x_{96} | x_{97} | x_{98} | x_{99} | x_{100} | x_{101} | x_{102} | x_{103} | x_{104} | x_{105} | x_{106} | x_{107} | x_{108} | x_{109} | x_{110} | x_{111} | x_{112} | x_{113} | x_{114} | x_{115} | x_{116} | x_{117} | x_{118} | x_{119} | x_{120} | x_{121} | x_{122} | x_{123} | x_{124} | x_{125} | x_{126} | x_{127} | x_{128} | x_{129} | x_{130} | x_{131} | x_{132} | x_{133} | x_{134} | x_{135} | x_{136} | x_{137} | x_{138} | x_{139} | x_{140} | x_{141} | x_{142} | x_{143} | x_{144} | x_{145} | x_{146} | x_{147} | x_{148} | x_{149} | x_{150} | x_{151} | x_{152} | x_{153} | x_{154} | x_{155} | x_{156} | x_{157} | x_{158} | x_{159} | x_{160} | x_{161} | x_{162} | x_{163} | x_{164} | x_{165} | x_{166} | x_{167} | x_{168} | x_{169} | x_{170} | x_{171} | x_{172} | x_{173} | x_{174} | x_{175} | x_{176} | x_{177} | x_{178} | x_{179} | x_{180} | x_{181} | x_{182} | x_{183} | x_{184} | x_{185} | x_{186} | x_{187} | x_{188} | x_{189} | x_{190} | x_{191} | x_{192} | x_{193} | x_{194} | x_{195} | x_{196} | x_{197} | x_{198} | x_{199} | x_{200} | x_{201} | x_{202} | x_{203} | x_{204} | x_{205} | x_{206} | x_{207} | x_{208} | x_{209} | x_{210} | x_{211} | x_{212} | x_{213} | x_{214} | x_{215} | x_{216} | x_{217} | x_{218} | x_{219} | x_{220} | x_{221} | x_{222} | x_{223} | x_{224} | x_{225} | x_{226} | x_{227} | x_{228} | x_{229} | x_{230} | x_{231} | x_{232} | x_{233} | x_{234} | x_{235} | x_{236} | x_{237} | x_{238} | x_{239} | x_{240} | x_{241} | x_{242} | x_{243} | x_{244} | x_{245} | x_{246} | x_{247} | x_{248} | x_{249} | x_{250} | x_{251} | x_{252} | x_{253} | x_{254} | x_{255} | x_{256} | x_{257} | x_{258} | x_{259} | x_{260} | x_{261} | x_{262} | x_{263} | x_{264} | x_{265} | x_{266} | x_{267} | x_{268} | x_{269} | x_{270} | x_{271} | x_{272} | x_{273} | x_{274} | x_{275} | x_{276} | x_{277} | x_{278} | x_{279} | x_{280} | x_{281} | x_{282} | x_{283} | x_{284} | x_{285} | x_{286} | x_{287} | x_{288} | x_{289} | x_{290} | x_{291} | x_{292} | x_{293} | x_{294} | x_{295} | x_{296} | x_{297} | x_{298} | x_{299} | x_{300} | x_{301} | x_{302} | x_{303} | x_{304} | x_{305} | x_{306} | x_{307} | x_{308} | x_{309} | x_{310} | x_{311} | x_{312} | x_{313} | x_{314} | x_{315} | x_{316} | x_{317} | x_{318} | x_{319} | x_{320} | x_{321} | x_{322} | x_{323} | x_{324} | x_{325} | x_{326} | x_{327} | x_{328} | x_{329} | x_{330} | x_{331} | x_{332} | x_{333} | x_{334} | x_{335} | x_{336} | x_{337} | x_{338} | x_{339} | x_{340} | x_{341} | x_{342} | x_{343} | x_{344} | x_{345} | x_{346} | x_{347} | x_{348} | x_{349} | x_{350} | x_{351} | x_{352} | x_{353} | x_{354} | x_{355} | x_{356} | x_{357} | x_{358} | x_{359} | x_{360} | x_{361} | x_{362} | x_{363} | x_{364} | x_{365} | x_{366} | x_{367} | x_{368} | x_{369} | x_{370} | x_{371} | x_{372} | x_{373} | x_{374} | x_{375} | x_{376} | x_{377} | x_{378} | x_{379} | x_{380} | x_{381} | x_{382} | x_{383} | x_{384} | x_{385} | x_{386} | x_{387} | x_{388} | x_{389} | x_{390} | x_{391} | x_{392} | x_{393} | x_{394} | x_{395} | x_{396} | x_{397} | x_{398} | x_{399} | x_{400} | x_{401} | x_{402} | x_{403} | x_{404} | x_{405} | x_{406} | x_{407} | x_{408} | x_{409} | x_{410} | x_{411} | x_{412} | x_{413} | x_{414} | x_{415} | x_{416} | x_{417} | x_{418} | x_{419} | x_{420} | x_{421} | x_{422} | x_{423} | x_{424} | x_{425} | x_{426} | x_{427} | x_{428} | x_{429} | x_{430} | x_{431} | x_{432} | x_{433} | x_{434} | x_{435} | x_{436} | x_{437} | x_{438} | x_{439} | x_{440} | x_{441} | x_{442} | x_{443} | x_{444} | x_{445} | x_{446} | x_{447} | x_{448} | x_{449} | x_{450} | x_{451} | x_{452} | x_{453} | x_{454} | x_{455} | x_{456} | x_{457} | x_{458} | x_{459} | x_{460} | x_{461} | x_{462} | x_{463} | x_{464} | x_{465} | x_{466} | x_{467} | x_{468} | x_{469} | x_{470} | x_{471} | x_{472} | x_{473} | x_{474} | x_{475} | x_{476} | x_{477} | x_{478} | x_{479} | x_{480} | x_{481} | x_{482} | x_{483} | x_{484} | x_{485} | x_{486} | x_{487} | x_{488} | x_{489} | x_{490} | x_{491} | x_{492} | x_{493} | x_{494} | x_{495} | x_{496} | x_{497} | x_{498} | x_{499} | x_{500} | x_{501} | x_{502} | x_{503} | x_{504} | x_{505} | x_{506} | x_{507} | x_{508} | x_{509} | x_{510} | x_{511} | x_{512} | x_{513} | x_{514} | x_{515} | x_{516} | x_{517} | x_{518} | x_{519} | x_{520} | x_{521} | x_{522} | x_{523} | x_{524} | x_{525} | x_{526} | x_{527} | x_{528} | x_{529} | x_{530} | x_{531} | x_{532} | x_{533} | x_{534} | x_{535} | x_{536} | x_{537} | x_{538} | x_{539} | x_{540} | x_{541} | x_{542} | x_{543} | x_{544} | x_{545} | x_{546} | x_{547} | x_{548} | x_{549} | x_{550} | x_{551} | x_{552} | x_{553} | x_{554} | x_{555} | x_{556} | x_{557} | x_{558} | x_{559} | x_{560} | x_{561} | x_{562} | x_{563} | x_{564} | x_{565} | x_{566} | x_{567} | x_{568} | x_{569} | x_{570} | x_{571} | x_{572} | x_{573} | x_{574} | x_{575} | x_{576} | x_{577} | x_{578} | x_{579} | x_{580} | x_{581} | x_{582} | x_{583} | x_{584} | x_{585} | x_{586} | x_{587} | x_{588} | x_{589} | x_{590} | x_{591} | x_{592} | x_{593} | x_{594} | x_{595} | x_{596} | x_{597} | x_{598} | x_{599} | x_{600} | x_{601} | x_{602} | x_{603} | x_{604} | x_{605} | x_{606} | x_{607} | x_{608} | x_{609} | x_{610} | x_{611} | x_{612} | x_{613} | x_{614} | x_{615} | x_{616} | x_{617} | x_{618} | x_{619} | x_{620} | x_{621} | x_{622} | x_{623} | x_{624} | x_{625} | x_{626} | x_{627} | x_{628} | x_{629} | x_{630} | x_{631} | x_{632} | x_{633} | x_{634} | x_{635} | x_{636} | x_{637} | x_{638} | x_{639} | x_{640} | x_{641} | x_{642} | x_{643} | x_{644} | x_{645} | x_{646} | x_{647} | x_{648} | x_{649} | x_{650} | x_{651} | x_{652} | x_{653} | x_{654} | x_{655} | x_{656} | x_{657} | x_{658} | x_{659} | x_{660} | x_{661} | x_{662} | x_{663} | x_{664} | x_{665} | x_{666} | x_{667} | x_{668} | x_{669} | x_{670} | x_{671} | x_{672} | x_{673} | x_{674} | x_{675} | x_{676} | x_{677} | x_{678} | x_{679} | x_{680} | x_{681} | x_{682} | x_{683} | x_{684} | x_{685} | x_{686} | x_{687} | x_{688} | x_{689} | x_{690} | x_{691} | x_{692} | x_{693} | x_{694} | x_{695} | x_{696} | x_{697} | x_{698} | x_{699} | x_{700} | x_{701} | x_{702} | x_{703} | x_{704} | x_{705} | x_{706} | x_{707} | x_{708} | x_{709} | x_{710} | x_{711} | x_{712} | x_{713} | x_{714} | x_{715} | x_{716} | x_{717} | x_{718} | x_{719} | x_{720} | x_{721} | x_{722} | x_{723} | x_{724} | x_{725} | x_{726} | x_{727} | x_{728} | x_{729} | x_{730} | x_{731} | x_{732} | x_{733} | x_{734} | x_{735} | x_{736} | x_{737} | x_{738} | x_{739} | x_{740} | x_{741} | x_{742} | x_{743} | x_{744} | x_{745} | x_{746} | x_{747} | x_{748} | x_{749} | x_{750} | x_{751} | x_{752} | x_{753} | x_{754} | x_{755} | x_{756} | x_{757} | x_{758} | x_{759} | x_{760} | x_{761} | x_{762} | x_{763} | x_{764} | x_{765} | x_{766} | x_{767} | x_{768} | x_{769} | x_{770} | x_{771} | x_{772} | x_{773} | x_{774} | x_{775} | x_{776} | x_{777} | x_{778} | x_{779} | x_{780} | x_{781} | x_{782} | x_{783} | x_{784} | x_{785} | x_{786} | x_{787} | x_{788} | x_{789} | x_{790} | x_{791} | x_{792} | x_{793} | x_{794} | x_{795} | x_{796} | x_{797} | x_{798} | x_{799} | x_{800} | x_{801} | x_{802} | x_{803} | x_{804} | x_{805} | x_{806} | x_{807} | x_{808} | x_{809} | x_{810} | x_{811} | x_{812} | x_{813} | x_{814} | x_{815} | x_{816} | x_{817} | x_{818} | x_{819} | x_{820} | x_{821} | x_{822} | x_{823} | x_{824} | x_{825} | x_{826} | x_{827} | x_{828} | x_{829} | x_{830} | x_{831} | x_{832} | x_{833} | x_{834} | x_{835} | x_{836} | x_{837} | x_{838} | x_{839} | x_{840 |
|----------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
|----------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI TEMPERATURE U ZONI REZANJA OD REŽIMA OBRADE PRI GLODANJU

| MODEL BEZ MEDUSOBNIH UTICAJA | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------|------------|----------|-----|-----|-------|-------------------|-------------|----------------|------------------|
| Mnogi faktori: | | | | | | | | | | |
| Nivoi faktora: | v (m/s) | s (mm/z) | a (mm) | k | N | n_p | Material pločice: | Material: | Vreme rezanja: | Prečnik obradka: |
| Nivoi faktora: | 5,86 | 0,223 | 2,6 | 3 | 24 | 4 | TM K20 | AI 7015 SSM | 20 sek | 100 mm |
| Gornji (+sqrt(2)) | 4,71 | 0,177 | 1,72 | | | | | | | |
| Srednji (0) | 3,71 | 0,141 | 1,14 | | | | | | | |
| Srednje donji (-1) | 2,93 | 0,112 | 0,75 | | | | | | | |
| Donji (-sqrt(2)) | 2,35 | 0,089 | 0,5 | | | | | | | |

| Plan matrice eksperimenata: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|------------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|---------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| Red. Br.: | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | v (m/s) | s (mm/z) | a (mm) | Q (°C) | y | x_{3y} | x_{2y} | x_{3y} | y | $(y-y)^2$ | $Q_{rad}(C)$ | $Q_{min}(C)$ | $Q_{max}(C)$ |
| 1 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,112 | 0,75 | 54 | 3,98998 | -3,98998 | 4,07754 | -4,07754 | 4,03466 | 0,00911 | 49,09 | 45,52 | 52,93 |
| 2 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,112 | 0,75 | 59 | 4,07754 | -4,07754 | 4,07754 | -4,07754 | 4,03466 | 0,00911 | 56,52 | 52,42 | 60,94 |
| 3 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,177 | 0,75 | 60 | 4,09434 | -4,09434 | 4,20469 | -4,20469 | 4,18237 | 0,00281 | 56,90 | 52,77 | 61,36 |
| 4 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,177 | 0,75 | 67 | 4,20469 | -4,20469 | 4,20469 | -4,20469 | 4,18237 | 0,00281 | 65,52 | 60,77 | 70,65 |
| 5 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,112 | 1,14 | 66 | 4,18965 | -4,18965 | 4,44265 | -4,44265 | 4,2793 | 0,00746 | 68,57 | 63,60 | 73,94 |
| 6 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,112 | 1,14 | 85 | 4,44265 | -4,44265 | 4,44265 | -4,44265 | 4,2793 | 0,00746 | 78,96 | 73,23 | 85,14 |
| 7 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,177 | 1,14 | 77 | 4,34381 | -4,34381 | 4,46591 | -4,46591 | 4,37573 | 0,00702 | 79,50 | 73,73 | 85,72 |
| 8 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,177 | 1,14 | 87 | 4,46591 | -4,46591 | 4,46591 | -4,46591 | 4,37573 | 0,00702 | 91,54 | 84,89 | 98,70 |
| 9 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 57 | 4,04305 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 4,20515 | 0,02628 | 67,14 | 64,72 | 69,43 |
| 10 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 62 | 4,12713 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 4,20515 | 0,00609 | 67,14 | 64,72 | 69,43 |
| 11 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 64 | 4,15888 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 4,20515 | 0,00214 | 67,14 | 64,72 | 69,43 |
| 12 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 62 | 4,12713 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 4,20515 | 0,00609 | 67,14 | 64,72 | 69,43 |
| 13 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 2,36 | 0,141 | 1,14 | 59 | 4,07564 | -5,76651 | 0,00000 | 0,00000 | 4,10544 | 0,00718 | 58,62 | 55,29 | 66,58 |
| 14 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 71 | 4,26768 | 6,02834 | 0,00000 | 0,00000 | 4,10544 | 0,00718 | 76,90 | 67,49 | 81,27 |
| 15 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 60 | 4,09434 | 0,00000 | -5,79028 | 0,00000 | 4,10663 | 0,00004 | 57,86 | 55,02 | 66,26 |
| 16 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 79 | 4,36945 | 0,00000 | 6,17933 | 0,00000 | 4,10663 | 0,00004 | 77,85 | 67,81 | 81,66 |
| 17 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 53 | 3,97029 | 0,00000 | 0,00000 | -5,81484 | 3,98872 | 0,00357 | 48,17 | 48,22 | 58,07 |
| 18 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 63 | 4,53266 | 0,00000 | 0,00000 | 6,11087 | 4,10544 | 0,00000 | 68,17 | 48,22 | 58,07 |
| 19 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 2,36 | 0,141 | 1,14 | 61 | 4,11887 | -5,81365 | 0,00000 | 0,00000 | 4,10544 | 0,00028 | 93,58 | 77,37 | 93,78 |
| 20 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 75 | 4,31749 | 6,10585 | 0,00000 | 0,00000 | 4,10544 | 0,00028 | 55,29 | 66,58 | 66,58 |
| 21 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 63 | 4,11887 | 0,00000 | -5,81365 | 0,00000 | 4,10663 | 0,00010 | 67,49 | 61,37 | 81,27 |
| 22 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 80 | 4,38293 | 0,00000 | 6,19172 | 0,00000 | 4,10663 | 0,00010 | 57,86 | 55,02 | 66,26 |
| 23 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 51 | 3,93783 | 0,00000 | 0,00000 | -5,60844 | 3,98872 | 0,00730 | 48,17 | 46,22 | 58,07 |
| 24 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 90 | 4,49987 | 0,00000 | 0,00000 | 6,30389 | 4,44158 | 0,00339 | 93,58 | 77,37 | 93,78 |
| | | | | | | | | | 100,92368 | 1,72803 | 1,72803 | 2,07493 | | | | | |

| Faktor b | | | | | | | | | | | | |
|----------|---------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-----|-----------|--------------|--------------|--------------|
| | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | x_{3y} | x_{2y} | x_{3y} | y | $(y-y)^2$ | $Q_{rad}(C)$ | $Q_{min}(C)$ | $Q_{max}(C)$ |
| b_0 | 4,20515 | | | | | | | | | | | |
| b_1 | 0,07650 | | | | | | | | | | | |
| b_2 | 0,07390 | | | | | | | | | | | |
| b_3 | 0,16718 | | | | | | | | | | | |

| Rezidualna suma: | | | | | | | | | |
|------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | F_R | F_{R1} | F_{R2} | F_{R3} | F_{R4} | F_{R5} | F_{R6} | F_{R7} | F_{R8} |
| S_R | 0,09009 | | | | | | | | |
| F_R | 14 | | | | | | | | |
| s_R^2 | 0,00643 | | | | | | | | |

| Greska eksperimenata: | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------|----------|----------|-------|-------|---------|--|--|--|
| | y_{sr} | S_{EA} | S_{EB} | S_E | F_E | s_E^2 | | | |
| | 4,11405 | | | | | | | | |
| | 0,00739 | | | | | | | | |
| | 0,00778 | | | | | | | | |
| | 0,00917 | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | |
| | 0,00783 | | | | | | | | |

| Adekvatnost modela: | | | | | | | | | |
|---------------------|---------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| | s_y^2 | f_s | F_s | | | | | | |
| | 0,00578 | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | | |
| | 3,15203 | | | | | | | | |

| Defkodiranje matematičkog modela: | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | p_0 | p_1 | p_2 | p_3 | p_4 | p_5 | p_6 | p_7 | p_8 |
| A_1 | 4,21332 | | | | | | | | |
| A_2 | 4,37014 | | | | | | | | |
| A_3 | 2,40962 | | | | | | | | |
| a_1 | -5,52933 | | | | | | | | |
| a_2 | 8,56736 | | | | | | | | |
| a_3 | -0,30680 | | | | | | | | |
| C | 81,2218 | | | | | | | | |

| Ocena tačnosti: | | | | | | | | | |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|--|--|--|--|--|
| | S_{b0} | S_{b1} | S_{b2} | S_{b3} | | | | | |
| | 424,3987 | | | | | | | | |
| | 0,0795 | | | | | | | | |
| | 0,0874 | | | | | | | | |
| | 0,4472 | | | | | | | | |

$F_{r1} > F_{t1} - V_j$ je uticajna na Q
 $F_{r2} > F_{r1} - S_{11}$ je uticajna na Q
 $F_{r3} > F_{r1} - a$ je uticajna na Q

za ocenu adekvatnosti
 za ocenu uticaja parametara
 Standardna devijacija:
 σ_1^2 0,00123
 σ_2^2 0,00027
 σ_3^2 0,00188
 za prvih osam članova eksperimenta
 za drugih četiri člana eksperimenta
 za preostalih dvanaest članova eksperimenta

$F_a < F_t$ - model je adekvatan

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI SREDNJE ARITMETIČKE HRAPAVOSTI OD REŽIMA OBRABE PRIGLODANJU

MODEL SA MEDUSOBNIM UTICAJEM

| Nivoi faktora: | v (m/s) | s (mm/2) | a (mm) |
|----------------|-----------|------------|----------|
| 1 | 5,86 | 0,223 | 2,6 |
| 2 | 4,71 | 0,177 | 1,72 |
| 3 | 3,71 | 0,141 | 1,14 |
| 4 | 2,82 | 0,112 | 0,75 |
| 5 | 2,35 | 0,089 | 0,5 |

Materijal pločice: TM K20
 Materijal: Al 7075 SSM
 Vremenski rezanje: 20 sek
 Prečni obradak: 100 mm

| k | 3 |
|-------|----|
| h | 24 |
| n_x | 4 |
| n_y | 7 |

Plan matrice eksperimenta:

| Red. br. | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 | x_5 | x_6 | x_7 | x_8 | x_9 | x_{10} | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{14} | x_{15} | x_{16} | x_{17} | x_{18} | x_{19} | x_{20} | x_{21} | x_{22} | x_{23} | x_{24} | x_{25} | x_{26} | x_{27} | x_{28} | x_{29} | x_{30} | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{34} | x_{35} | x_{36} | x_{37} | x_{38} | x_{39} | x_{40} | x_{41} | x_{42} | x_{43} | x_{44} | x_{45} | x_{46} | x_{47} | x_{48} | x_{49} | x_{50} | x_{51} | x_{52} | x_{53} | x_{54} | x_{55} | x_{56} | x_{57} | x_{58} | x_{59} | x_{60} | x_{61} | x_{62} | x_{63} | x_{64} | x_{65} | x_{66} | x_{67} | x_{68} | x_{69} | x_{70} | x_{71} | x_{72} | x_{73} | x_{74} | x_{75} | x_{76} | x_{77} | x_{78} | x_{79} | x_{80} | x_{81} | x_{82} | x_{83} | x_{84} | x_{85} | x_{86} | x_{87} | x_{88} | x_{89} | x_{90} | x_{91} | x_{92} | x_{93} | x_{94} | x_{95} | x_{96} | x_{97} | x_{98} | x_{99} | x_{100} | x_{101} | x_{102} | x_{103} | x_{104} | x_{105} | x_{106} | x_{107} | x_{108} | x_{109} | x_{110} | x_{111} | x_{112} | x_{113} | x_{114} | x_{115} | x_{116} | x_{117} | x_{118} | x_{119} | x_{120} | x_{121} | x_{122} | x_{123} | x_{124} | x_{125} | x_{126} | x_{127} | x_{128} | x_{129} | x_{130} | x_{131} | x_{132} | x_{133} | x_{134} | x_{135} | x_{136} | x_{137} | x_{138} | x_{139} | x_{140} | x_{141} | x_{142} | x_{143} | x_{144} | x_{145} | x_{146} | x_{147} | x_{148} | x_{149} | x_{150} | x_{151} | x_{152} | x_{153} | x_{154} | x_{155} | x_{156} | x_{157} | x_{158} | x_{159} | x_{160} | x_{161} | x_{162} | x_{163} | x_{164} | x_{165} | x_{166} | x_{167} | x_{168} | x_{169} | x_{170} | x_{171} | x_{172} | x_{173} | x_{174} | x_{175} | x_{176} | x_{177} | x_{178} | x_{179} | x_{180} | x_{181} | x_{182} | x_{183} | x_{184} | x_{185} | x_{186} | x_{187} | x_{188} | x_{189} | x_{190} | x_{191} | x_{192} | x_{193} | x_{194} | x_{195} | x_{196} | x_{197} | x_{198} | x_{199} | x_{200} | x_{201} | x_{202} | x_{203} | x_{204} | x_{205} | x_{206} | x_{207} | x_{208} | x_{209} | x_{210} | x_{211} | x_{212} | x_{213} | x_{214} | x_{215} | x_{216} | x_{217} | x_{218} | x_{219} | x_{220} | x_{221} | x_{222} | x_{223} | x_{224} | x_{225} | x_{226} | x_{227} | x_{228} | x_{229} | x_{230} | x_{231} | x_{232} | x_{233} | x_{234} | x_{235} | x_{236} | x_{237} | x_{238} | x_{239} | x_{240} | x_{241} | x_{242} | x_{243} | x_{244} | x_{245} | x_{246} | x_{247} | x_{248} | x_{249} | x_{250} | x_{251} | x_{252} | x_{253} | x_{254} | x_{255} | x_{256} | x_{257} | x_{258} | x_{259} | x_{260} | x_{261} | x_{262} | x_{263} | x_{264} | x_{265} | x_{266} | x_{267} | x_{268} | x_{269} | x_{270} | x_{271} | x_{272} | x_{273} | x_{274} | x_{275} | x_{276} | x_{277} | x_{278} | x_{279} | x_{280} | x_{281} | x_{282} | x_{283} | x_{284} | x_{285} | x_{286} | x_{287} | x_{288} | x_{289} | x_{290} | x_{291} | x_{292} | x_{293} | x_{294} | x_{295} | x_{296} | x_{297} | x_{298} | x_{299} | x_{300} | x_{301} | x_{302} | x_{303} | x_{304} | x_{305} | x_{306} | x_{307} | x_{308} | x_{309} | x_{310} | x_{311} | x_{312} | x_{313} | x_{314} | x_{315} | x_{316} | x_{317} | x_{318} | x_{319} | x_{320} | x_{321} | x_{322} | x_{323} | x_{324} | x_{325} | x_{326} | x_{327} | x_{328} | x_{329} | x_{330} | x_{331} | x_{332} | x_{333} | x_{334} | x_{335} | x_{336} | x_{337} | x_{338} | x_{339} | x_{340} | x_{341} | x_{342} | x_{343} | x_{344} | x_{345} | x_{346} | x_{347} | x_{348} | x_{349} | x_{350} | x_{351} | x_{352} | x_{353} | x_{354} | x_{355} | x_{356} | x_{357} | x_{358} | x_{359} | x_{360} | x_{361} | x_{362} | x_{363} | x_{364} | x_{365} | x_{366} | x_{367} | x_{368} | x_{369} | x_{370} | x_{371} | x_{372} | x_{373} | x_{374} | x_{375} | x_{376} | x_{377} | x_{378} | x_{379} | x_{380} | x_{381} | x_{382} | x_{383} | x_{384} | x_{385} | x_{386} | x_{387} | x_{388} | x_{389} | x_{390} | x_{391} | x_{392} | x_{393} | x_{394} | x_{395} | x_{396} | x_{397} | x_{398} | x_{399} | x_{400} | x_{401} | x_{402} | x_{403} | x_{404} | x_{405} | x_{406} | x_{407} | x_{408} | x_{409} | x_{410} | x_{411} | x_{412} | x_{413} | x_{414} | x_{415} | x_{416} | x_{417} | x_{418} | x_{419} | x_{420} | x_{421} | x_{422} | x_{423} | x_{424} | x_{425} | x_{426} | x_{427} | x_{428} | x_{429} | x_{430} | x_{431} | x_{432} | x_{433} | x_{434} | x_{435} | x_{436} | x_{437} | x_{438} | x_{439} | x_{440} | x_{441} | x_{442} | x_{443} | x_{444} | x_{445} | x_{446} | x_{447} | x_{448} | x_{449} | x_{450} | x_{451} | x_{452} | x_{453} | x_{454} | x_{455} | x_{456} | x_{457} | x_{458} | x_{459} | x_{460} | x_{461} | x_{462} | x_{463} | x_{464} | x_{465} | x_{466} | x_{467} | x_{468} | x_{469} | x_{470} | x_{471} | x_{472} | x_{473} | x_{474} | x_{475} | x_{476} | x_{477} | x_{478} | x_{479} | x_{480} | x_{481} | x_{482} | x_{483} | x_{484} | x_{485} | x_{486} | x_{487} | x_{488} | x_{489} | x_{490} | x_{491} | x_{492} | x_{493} | x_{494} | x_{495} | x_{496} | x_{497} | x_{498} | x_{499} | x_{500} | x_{501} | x_{502} | x_{503} | x_{504} | x_{505} | x_{506} | x_{507} | x_{508} | x_{509} | x_{510} | x_{511} | x_{512} | x_{513} | x_{514} | x_{515} | x_{516} | x_{517} | x_{518} | x_{519} | x_{520} | x_{521} | x_{522} | x_{523} | x_{524} | x_{525} | x_{526} | x_{527} | x_{528} | x_{529} | x_{530} | x_{531} | x_{532} | x_{533} | x_{534} | x_{535} | x_{536} | x_{537} | x_{538} | x_{539} | x_{540} | x_{541} | x_{542} | x_{543} | x_{544} | x_{545} | x_{546} | x_{547} | x_{548} | x_{549} | x_{550} | x_{551} | x_{552} | x_{553} | x_{554} | x_{555} | x_{556} | x_{557} | x_{558} | x_{559} | x_{560} | x_{561} | x_{562} | x_{563} | x_{564} | x_{565} | x_{566} | x_{567} | x_{568} | x_{569} | x_{570} | x_{571} | x_{572} | x_{573} | x_{574} | x_{575} | x_{576} | x_{577} | x_{578} | x_{579} | x_{580} | x_{581} | x_{582} | x_{583} | x_{584} | x_{585} | x_{586} | x_{587} | x_{588} | x_{589} | x_{590} | x_{591} | x_{592} | x_{593} | x_{594} | x_{595} | x_{596} | x_{597} | x_{598} | x_{599} | x_{600} | x_{601} | x_{602} | x_{603} | x_{604} | x_{605} | x_{606} | x_{607} | x_{608} | x_{609} | x_{610} | x_{611} | x_{612} | x_{613} | x_{614} | x_{615} | x_{616} | x_{617} | x_{618} | x_{619} | x_{620} | x_{621} | x_{622} | x_{623} | x_{624} | x_{625} | x_{626} | x_{627} | x_{628} | x_{629} | x_{630} | x_{631} | x_{632} | x_{633} | x_{634} | x_{635} | x_{636} | x_{637} | x_{638} | x_{639} | x_{640} | x_{641} | x_{642} | x_{643} | x_{644} | x_{645} | x_{646} | x_{647} | x_{648} | x_{649} | x_{650} | x_{651} | x_{652} | x_{653} | x_{654} | x_{655} | x_{656} | x_{657} | x_{658} | x_{659} | x_{660} | x_{661} | x_{662} | x_{663} | x_{664} | x_{665} | x_{666} | x_{667} | x_{668} | x_{669} | x_{670} | x_{671} | x_{672} | x_{673} | x_{674} | x_{675} | x_{676} | x_{677} | x_{678} | x_{679} | x_{680} | x_{681} | x_{682} | x_{683} | x_{684} | x_{685} | x_{686} | x_{687} | x_{688} | x_{689} | x_{690} | x_{691} | x_{692} | x_{693} | x_{694} | x_{695} | x_{696} | x_{697} | x_{698} | x_{699} | x_{700} | x_{701} | x_{702} | x_{703} | x_{704} | x_{705} | x_{706} | x_{707} | x_{708} | x_{709} | x_{710} | x_{711} | x_{712} | x_{713} | x_{714} | x_{715} | x_{716} | x_{717} | x_{718} | x_{719} | x_{720} | x_{721} | x_{722} | x_{723} | x_{724} | x_{725} | x_{726} | x_{727} | x_{728} | x_{729} | x_{730} | x_{731} | x_{732} | x_{733} | x_{734} | x_{735} | x_{736} | x_{737} | x_{738} | x_{739} | x_{740} | x_{741} | x_{742} | x_{743} | x_{744} | x_{745} | x_{746} | x_{747} | x_{748} | x_{749} | x_{750} | x_{751} | x_{752} | x_{753} | x_{754} | x_{755} | x_{756} | x_{757} | x_{758} | x_{759} | x_{760} | x_{761} | x_{762} | x_{763} | x_{764} | x_{765} | x_{766} | x_{767} | x_{768} | x_{769} | x_{770} | x_{771} | x_{772} | x_{773} | x_{774} | x_{775} | x_{776} | x_{777} | x_{778} | x_{779} | x_{780} | x_{781} | x_{782} | x_{783} | x_{784} | x_{785} | x_{786} | x_{787} | x_{788} | x_{789} | x_{790} | x_{791} | x_{792} | x_{793} | x_{794} | x_{795} | x_{796} | x_{797} | x_{798} | x_{799} | x_{800} | x_{801} | x_{802} | x_{803} | x_{804} | x_{805} | x_{806} | x_{807} | x_{808} | x_{809} | x_{810} | x_{811} | x_{812} | x_{813} | x_{814} | x_{815} | x_{816} | x_{817} | x_{818} | x_{819} | x_{820} | x_{821} | x_{822} | x_{823} | x_{824} | x_{825} | x_{826} | x_{827} | x_{828} | x_{829} | x_{830} | x_{831} | x_{832} | x_{833} | x_{834} | x_{835} </ |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI MAKSYMALNE VISINE NERAVNINA OBRABENE PLOVRSINE OD REŽIMA OBRABE PRI GLODANJU

MODEL BEZ MEDUSOBNIH UTICAJA

| Nivoi faktora: | v (m/s) | s_1 (mm/z) | a (mm) | k | 3 | 4 |
|------------------|-----------|--------------|----------|-----|-----|-----|
| Nivo (kod) | 5,86 | 0,223 | 2,6 | | | |
| Gornji (-sqr(2)) | 4,71 | 0,177 | 1,72 | | | |
| Srednje (0) | 3,71 | 0,141 | 1,14 | | | |
| Donji (+sqr(2)) | 2,93 | 0,112 | 0,75 | | | |
| Donji (-sqr(2)) | 2,35 | 0,089 | 0,5 | | | |

Plan matrice eksperimenta:

| Red. Br.: | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | v (m/s) | s_1 (mm/z) | a (mm) | R_{max} (µm) | y | x_{-y} | x_{+y} | x_{-y}^2 | x_{+y}^2 | \hat{y} | $R_{max_{rac}}$ (µm) | $R_{max_{min}}$ (µm) | $R_{max_{max}}$ (µm) |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------------|----------|----------------|----------|----------|----------|------------|------------|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,112 | 0,75 | 5,07 | 1,62334 | -1,62334 | -1,62334 | 0,00713 | 1,62334 | 1,62334 | 4,66 | 4,06 | 5,36 |
| 2 | 1,00 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,112 | 0,75 | 4,51 | 1,50630 | 1,50630 | -1,50630 | 0,00713 | 1,50630 | 1,50630 | 4,00 | 3,47 | 4,60 |
| 3 | 1,00 | -1,00 | 1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,177 | 0,75 | 6,89 | 1,93007 | -1,93007 | 1,93007 | 0,00448 | 1,93007 | 1,93007 | 7,37 | 6,40 | 8,48 |
| 4 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,177 | 0,75 | 7,97 | 2,07568 | 2,07568 | -2,07568 | 0,00448 | 2,07568 | 2,07568 | 7,37 | 6,40 | 8,48 |
| 5 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | 1,00 | 2,93 | 0,112 | 1,72 | 5,63 | 1,72811 | -1,72811 | 1,72811 | 0,02854 | 1,72811 | 1,72811 | 6,32 | 5,49 | 7,27 |
| 6 | 1,00 | 1,00 | -1,00 | 1,00 | 4,71 | 0,112 | 1,72 | 4,12 | 1,41585 | 1,41585 | -1,41585 | 0,02854 | 1,41585 | 1,41585 | 6,32 | 5,49 | 7,27 |
| 7 | 1,00 | -1,00 | 1,00 | 1,00 | 2,93 | 0,177 | 1,72 | 6,63 | 1,89160 | -1,89160 | 1,89160 | 0,01579 | 1,89160 | 1,89160 | 4,08 | 3,54 | 4,70 |
| 8 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 4,71 | 0,177 | 1,72 | 5,78 | 1,75440 | 1,75440 | -1,75440 | 0,01579 | 1,75440 | 1,75440 | 4,08 | 3,54 | 4,70 |
| 9 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 5,16 | 1,64094 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00366 | 1,64094 | 1,64094 | 6,45 | 5,60 | 7,42 |
| 10 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 4,91 | 1,59127 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00366 | 1,59127 | 1,59127 | 6,45 | 5,60 | 7,42 |
| 11 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 6,3 | 1,61343 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00366 | 1,61343 | 1,61343 | 6,45 | 5,60 | 7,42 |
| 12 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 5,76 | 1,75094 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00366 | 1,75094 | 1,75094 | 6,45 | 5,60 | 7,42 |
| 13 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 5,76 | 1,75094 | -2,47620 | 0,00000 | 0,00347 | 1,75094 | 1,75094 | 6,37 | 5,14 | 7,27 |
| 14 | 1,00 | 1,41 | 0,00 | 0,00 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 4,3 | 1,45862 | 2,06279 | 0,00000 | 0,00347 | 1,45862 | 1,45862 | 6,37 | 5,14 | 7,27 |
| 15 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 3,34 | 1,20697 | 0,00000 | -1,70650 | 0,00662 | 1,20697 | 1,20697 | 4,72 | 4,13 | 5,85 |
| 16 | 1,00 | 0,00 | 1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 7,77 | 2,05027 | 0,00000 | 2,89522 | 0,00662 | 2,05027 | 2,05027 | 4,72 | 4,13 | 5,85 |
| 17 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 5,31 | 1,66959 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00031 | 1,66959 | 1,66959 | 6,38 | 4,54 | 6,43 |
| 18 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 6,83 | 1,92132 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00031 | 1,92132 | 1,92132 | 6,38 | 4,54 | 6,43 |
| 19 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 6,11 | 1,80993 | -2,55962 | 0,00000 | 0,00000 | 1,80993 | 1,80993 | 6,37 | 5,14 | 7,27 |
| 20 | 1,00 | 1,41 | 0,00 | 0,00 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 4,63 | 1,52956 | 2,16736 | 0,00000 | 0,00000 | 1,52956 | 1,52956 | 6,37 | 5,14 | 7,27 |
| 21 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 3,45 | 1,23837 | 0,00000 | -1,75133 | 0,00000 | 1,23837 | 1,23837 | 4,74 | 4,13 | 5,85 |
| 22 | 1,00 | 0,00 | 1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 7,47 | 2,01689 | 0,00000 | 2,84933 | 0,00000 | 2,01689 | 2,01689 | 4,74 | 4,13 | 5,85 |
| 23 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 5,66 | 1,73342 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00215 | 1,73342 | 1,73342 | 6,37 | 5,14 | 7,27 |
| 24 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 6,3 | 1,84655 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00215 | 1,84655 | 1,84655 | 6,37 | 5,14 | 7,27 |
| | | | | | 40,82789 | | | | 40,82789 | -1,22665 | 3,66449 | 0,16208 | | | | | |

Faktori b

| | |
|-------|----------|
| b_0 | 1,70142 |
| b_1 | -0,07666 |
| b_2 | 0,22904 |
| b_3 | 0,01073 |

Dekodiranje matematičkog modela:

| | | | | | |
|-------|----------|-------|----------|----------|---------|
| A_1 | 4,21332 | p_0 | 4,08448 | S_{b0} | 09,4756 |
| A_2 | 4,37014 | p_1 | -0,32299 | S_{b1} | 0,0940 |
| A_3 | 2,40982 | p_2 | 1,00995 | S_{b2} | 0,8394 |
| A_4 | -5,52933 | p_3 | 0,02441 | S_{b3} | 0,0016 |
| a_1 | 8,56726 | | | | |
| a_2 | -0,30680 | | | | |
| a_3 | | | | | |
| C | 59,4111 | | | | |

Ocena tačnosti:

| | | | | | | | |
|-------|---|-------|---|-------|---|-------|---|
| x_0 | 2 | x_1 | 0 | x_2 | 0 | x_3 | 0 |
| x_1 | 0 | x_2 | 3 | x_3 | 0 | x_0 | 0 |
| x_2 | 0 | x_3 | 0 | x_0 | 3 | x_1 | 0 |
| x_3 | 0 | x_0 | 0 | x_1 | 0 | x_2 | 3 |

Faktor 48

Rezidualna suma:

| | |
|---------|---------|
| S_R | 0,34441 |
| f_R | 14 |
| s_R^2 | 0,02246 |

Ocena adekvatnosti:

| | | |
|----------|---------|---|
| F_{10} | 7744,14 | $F_{10} > F_{\alpha} \cdot v$ je uticajana na R_{max} |
| F_{11} | 10,48 | $F_{11} > F_{\alpha} \cdot v$ je uticajana na R_{max} |
| F_{12} | 93,56 | $F_{12} > F_{\alpha} \cdot v$ nije uticajana na R_{max} |
| F_{13} | 0,18 | $F_{13} < F_{\alpha} \cdot v$ nije uticajana na R_{max} |

Greška eksperimenta:

| | |
|----------|---------|
| y_{ER} | 1,67165 |
| S_{EA} | 0,03932 |
| S_{EB} | 0,00554 |
| S_E | 0,04486 |
| f_E | 5 |
| s_E | 0,00887 |

za ocenu adekvatnosti za ocenu uticaja parametara

| | |
|------------------|---------|
| σ_s^2 | 0,00430 |
| $\sigma_{s_1}^2$ | 0,00094 |
| $\sigma_{s_2}^2$ | 0,00655 |

za prvih osam članova eksperimenta za drugih četiri člana eksperimenta za preostalih dvanaest članova eksperimenta

Adekvatnost modela:

| | |
|---------|---------|
| s_1^2 | 0,01925 |
| f_s | 9 |
| F_s | 2,14613 |

$F_a < F_t$ - model je adekvatan

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI FAKTORA SABLJANJA STRUGOTINE OD REŽIMA OBRADE PRI GLODANJU

MODEL BEZ MEDUSOBNIH UTICAJA

| Nivoi faktora: | v (m/s) | s (mm/z) | δ (mm) | k | 3 | Material pločice: | TM K20 |
|---------------------|-----------|------------|---------------|-------|-----|-------------------|-------------|
| Gornji (+sqrt(2)) | 5,86 | 0,223 | 2,6 | N | 24 | Material: | AI 7075 SSM |
| Srednje gornji (+1) | 4,71 | 0,177 | 1,72 | n_9 | 4 | Vreme rezanja: | 20 sek |
| Srednji (0) | 3,71 | 0,141 | 1,14 | | | Prečnik obradka: | 100 mm |
| Srednje donji (-1) | 2,93 | 0,112 | 0,75 | | | | |
| Donji (-sqrt(2)) | 2,35 | 0,089 | 0,5 | | | | |

Plan matrice experimenta:

| Red. Br.: | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | v (m/s) | s_1 (mm/z) | δ (mm) | λ | y | $x_{x,y}$ | $x_{x,y}$ | $x_{x,y}$ | \dot{y} | $(\dot{y}-j)^2$ | λ_{rac} | λ_{min} | λ_{max} |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------------|---------------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,112 | 0,75 | 2,76 | 1,01160 | -1,01160 | -1,01160 | 1,94151 | 0,86474 | 6,92 | 4,46 | 10,69 | |
| 2 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,177 | 0,75 | 4,65 | 1,53687 | -1,53687 | -1,53687 | 1,63228 | 0,00929 | 5,12 | 3,28 | 8,00 | |
| 3 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,177 | 0,75 | 3,04 | 1,11186 | -1,11186 | -1,11186 | 1,32032 | 0,04346 | 3,74 | 2,40 | 5,85 | |
| 4 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,177 | 0,75 | 2,46 | 0,90076 | 0,90076 | 0,90076 | 1,07208 | 0,01253 | 2,75 | 1,76 | 4,30 | |
| 5 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,112 | 1,72 | 5,69 | 1,73871 | -1,73871 | -1,73871 | 1,51036 | 0,05214 | 4,53 | 2,90 | 7,08 | |
| 6 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,112 | 1,72 | 2,04 | 0,71295 | -0,71295 | -0,71295 | 1,20212 | 0,23929 | 3,33 | 2,13 | 5,20 | |
| 7 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 2,93 | 0,177 | 1,72 | 2,49 | 0,91228 | -0,91228 | -0,91228 | 0,88917 | 0,00053 | 2,43 | 1,56 | 3,80 | |
| 8 | 1,00 | -1,00 | -1,00 | -1,00 | 4,71 | 0,177 | 1,72 | 1,84 | 0,60977 | 0,60977 | 0,60977 | 0,58093 | 0,00083 | 1,79 | 1,14 | 2,79 | |
| 9 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 3,31 | 1,19695 | 0,00000 | 0,00000 | 1,26122 | 0,00413 | 3,52 | 2,87 | 4,35 | |
| 10 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 2 | 0,69315 | 0,00000 | 0,00000 | 1,26122 | 0,32271 | 3,52 | 2,87 | 4,35 | |
| 11 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 2,55 | 0,93609 | 0,00000 | 0,00000 | 1,26122 | 0,10571 | 3,52 | 2,87 | 4,35 | |
| 12 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,71 | 0,141 | 1,14 | 2,71 | 0,99695 | 0,00000 | 0,00000 | 1,26122 | 0,06984 | 3,52 | 2,87 | 4,35 | |
| 13 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 4,01 | 1,38879 | -1,38879 | -1,38879 | 1,47918 | 0,00817 | 4,73 | 2,53 | 7,61 | |
| 14 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 2,75 | 1,01160 | -1,01160 | -1,01160 | 1,04327 | 0,00100 | 2,62 | 1,84 | 4,92 | |
| 15 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 9,1 | 2,20827 | 0,00000 | -3,12937 | 0,00000 | 1,70447 | 0,25786 | 6,57 | 3,16 | 9,50 |
| 16 | 1,00 | 0,00 | 1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 3 | 1,09851 | 0,00000 | 1,55367 | 0,00000 | 0,82707 | 0,07653 | 1,89 | 1,31 | 3,95 |
| 17 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 9,4 | 2,24071 | 0,00000 | 0,00000 | -3,16894 | 1,56609 | 0,44511 | 5,40 | 2,76 | 8,30 |
| 18 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 2,61 | 0,98935 | 0,00000 | 0,00000 | 1,35873 | 0,95635 | 0,00001 | 2,29 | 1,50 | 4,51 |
| 19 | 1,00 | -1,41 | 0,00 | 0,00 | 2,35 | 0,141 | 1,14 | 5,09 | 1,62728 | -2,30122 | 0,00000 | 1,43918 | 0,02193 | 4,73 | 2,53 | 7,61 | |
| 20 | 1,00 | 1,41 | 0,00 | 0,00 | 5,86 | 0,141 | 1,14 | 2,69 | 0,97633 | 1,36356 | 0,00000 | 1,04327 | 0,00422 | 2,62 | 1,84 | 4,92 | |
| 21 | 1,00 | 0,00 | -1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,089 | 1,14 | 16,94 | 2,36462 | 0,00000 | -3,34408 | 0,00000 | 1,70047 | 0,44109 | 6,57 | 3,16 | 9,50 |
| 22 | 1,00 | 0,00 | 1,41 | 0,00 | 3,71 | 0,223 | 1,14 | 2,71 | 0,99695 | 0,00000 | 1,40990 | 0,00000 | 0,82797 | 0,03062 | 1,89 | 1,31 | 3,95 |
| 23 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | -1,41 | 3,71 | 0,141 | 0,5 | 6,62 | 1,39070 | 0,00000 | 0,00000 | -2,67300 | 1,56609 | 0,70488 | 5,40 | 2,76 | 8,30 |
| 24 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,41 | 3,71 | 0,141 | 2,6 | 3,75 | 1,14740 | 0,00000 | 0,00000 | 1,62267 | 0,95635 | 2,29 | 1,50 | 4,51 | |
| | | | | | | | | | 30,26934 | -2,46569 | -4,96954 | -3,44972 | | | | | |

Faktor b

| Dekodiranje matematičkog modela: | p_0 | p_1 | p_2 | p_3 |
|----------------------------------|----------|----------|-------|-------|
| A_1 | 4,21332 | -0,48146 | | |
| A_2 | 4,37014 | -0,64935 | | |
| A_3 | 2,40982 | -1,35735 | | |
| a_1 | -5,52933 | -0,51946 | | |
| a_2 | 8,58736 | | | |
| a_3 | -0,30680 | | | |
| C | 0,61719 | | | |

Ocena tačnosti:

| S_{p0} | S_{p1} | S_{p2} | S_{p3} |
|----------|----------|----------|----------|
| | 38,1764 | | |
| | 0,3800 | | |
| | 1,5435 | | |
| | 0,7436 | | |

INV(X*X)

| x_0 | x_1 | x_2 | x_3 |
|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 3 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 3 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 3 |

Faktor

| |
|----|
| 48 |
|----|

Rezidualna suma:

| | |
|---------|---------|
| S_R | 3,16323 |
| F_R | 14 |
| s_R^2 | 0,22594 |

Greška eksperimenta:

| | |
|----------|---------|
| y_{sv} | 0,95678 |
| S_{Ea} | 0,12922 |
| S_{Eb} | 0,00276 |
| S_E | 0,19198 |
| f_E | 5 |
| s_E^2 | 0,03840 |

Standardna devijacija:

| | |
|--------------|---------|
| σ_1^2 | 0,04331 |
| σ_2^2 | 0,00941 |
| σ_3^2 | 0,06590 |

Adekvatnost modela:

| | |
|---------|---------|
| s_2^2 | 0,21223 |
| f_2 | 9 |
| F_2 | 5,62730 |

Fa> F α - model nije adekvatan

za prvih osam članova eksperimenta
za drugih četiri člana eksperimenta
za preostalih dvanaest članova eksperimenta

za ocenu adekvatnosti
za ocenu uticaja parametara

$F_{R1} > F_{R2}$ "V" je uticajna na λ
 $F_{R2} > F_{R3}$ "s₁" je uticajna na λ
 $F_{R3} > F_{R4}$ "s₂" je uticajna na λ

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI FAKTORA SABIJANJA STRUGOTINE OD REŽIMA OBRADE PRI GLODANJU

MODEL SA MEĐUSOBNIH UTICAJEM

| Izvor faktora: | v (m/s) | s (mm/z) | δ (mm) |
|--------------------------------------|-----------|------------|---------------|
| 1. Iznos (broj) | 5,86 | 0,223 | 2,6 |
| 2. Gornji (-) / donji (+) (mm) | 4,71 | 0,177 | 1,72 |
| 3. Srednje površje (-) / srednje (0) | 3,71 | 0,141 | 1,14 |
| 4. Spoljašnje donji (-) / donji (0) | 2,93 | 0,112 | 0,75 |
| 5. Donji (0) / donji (+) | 2,35 | 0,089 | 0,5 |

Materijal pločice: TM K20
 Materijal: Al 7075 SSM
 Vremena rezanja: 20 sek
 Prečnik obradka: 100 mm

| k | j |
|-----|-----|
| 1 | 24 |
| 2 | 4 |
| 3 | 7 |

Plan matrice eksperimenta:

| Red. Br.: | k_1 | k_2 | k_3 | k_4 | k_5 | k_6 | k_7 | k_8 | k_9 | k_{10} | k_{11} | k_{12} | k_{13} | k_{14} | k_{15} | k_{16} | k_{17} | k_{18} | k_{19} | k_{20} | k_{21} | k_{22} | k_{23} | k_{24} | k_{25} | k_{26} | k_{27} | k_{28} | k_{29} | k_{30} | k_{31} | k_{32} | k_{33} | k_{34} | k_{35} | k_{36} | k_{37} | k_{38} | k_{39} | k_{40} | k_{41} | k_{42} | k_{43} | k_{44} | k_{45} | k_{46} | k_{47} | k_{48} | k_{49} | k_{50} | k_{51} | k_{52} | k_{53} | k_{54} | k_{55} | k_{56} | k_{57} | k_{58} | k_{59} | k_{60} | k_{61} | k_{62} | k_{63} | k_{64} | k_{65} | k_{66} | k_{67} | k_{68} | k_{69} | k_{70} | k_{71} | k_{72} | k_{73} | k_{74} | k_{75} | k_{76} | k_{77} | k_{78} | k_{79} | k_{80} | k_{81} | k_{82} | k_{83} | k_{84} | k_{85} | k_{86} | k_{87} | k_{88} | k_{89} | k_{90} | k_{91} | k_{92} | k_{93} | k_{94} | k_{95} | k_{96} | k_{97} | k_{98} | k_{99} | k_{100} | k_{101} | k_{102} | k_{103} | k_{104} | k_{105} | k_{106} | k_{107} | k_{108} | k_{109} | k_{110} | k_{111} | k_{112} | k_{113} | k_{114} | k_{115} | k_{116} | k_{117} | k_{118} | k_{119} | k_{120} | k_{121} | k_{122} | k_{123} | k_{124} | k_{125} | k_{126} | k_{127} | k_{128} | k_{129} | k_{130} | k_{131} | k_{132} | k_{133} | k_{134} | k_{135} | k_{136} | k_{137} | k_{138} | k_{139} | k_{140} | k_{141} | k_{142} | k_{143} | k_{144} | k_{145} | k_{146} | k_{147} | k_{148} | k_{149} | k_{150} | k_{151} | k_{152} | k_{153} | k_{154} | k_{155} | k_{156} | k_{157} | k_{158} | k_{159} | k_{160} | k_{161} | k_{162} | k_{163} | k_{164} | k_{165} | k_{166} | k_{167} | k_{168} | k_{169} | k_{170} | k_{171} | k_{172} | k_{173} | k_{174} | k_{175} | k_{176} | k_{177} | k_{178} | k_{179} | k_{180} | k_{181} | k_{182} | k_{183} | k_{184} | k_{185} | k_{186} | k_{187} | k_{188} | k_{189} | k_{190} | k_{191} | k_{192} | k_{193} | k_{194} | k_{195} | k_{196} | k_{197} | k_{198} | k_{199} | k_{200} | k_{201} | k_{202} | k_{203} | k_{204} | k_{205} | k_{206} | k_{207} | k_{208} | k_{209} | k_{210} | k_{211} | k_{212} | k_{213} | k_{214} | k_{215} | k_{216} | k_{217} | k_{218} | k_{219} | k_{220} | k_{221} | k_{222} | k_{223} | k_{224} | k_{225} | k_{226} | k_{227} | k_{228} | k_{229} | k_{230} | k_{231} | k_{232} | k_{233} | k_{234} | k_{235} | k_{236} | k_{237} | k_{238} | k_{239} | k_{240} | k_{241} | k_{242} | k_{243} | k_{244} | k_{245} | k_{246} | k_{247} | k_{248} | k_{249} | k_{250} | k_{251} | k_{252} | k_{253} | k_{254} | k_{255} | k_{256} | k_{257} | k_{258} | k_{259} | k_{260} | k_{261} | k_{262} | k_{263} | k_{264} | k_{265} | k_{266} | k_{267} | k_{268} | k_{269} | k_{270} | k_{271} | k_{272} | k_{273} | k_{274} | k_{275} | k_{276} | k_{277} | k_{278} | k_{279} | k_{280} | k_{281} | k_{282} | k_{283} | k_{284} | k_{285} | k_{286} | k_{287} | k_{288} | k_{289} | k_{290} | k_{291} | k_{292} | k_{293} | k_{294} | k_{295} | k_{296} | k_{297} | k_{298} | k_{299} | k_{300} | k_{301} | k_{302} | k_{303} | k_{304} | k_{305} | k_{306} | k_{307} | k_{308} | k_{309} | k_{310} | k_{311} | k_{312} | k_{313} | k_{314} | k_{315} | k_{316} | k_{317} | k_{318} | k_{319} | k_{320} | k_{321} | k_{322} | k_{323} | k_{324} | k_{325} | k_{326} | k_{327} | k_{328} | k_{329} | k_{330} | k_{331} | k_{332} | k_{333} | k_{334} | k_{335} | k_{336} | k_{337} | k_{338} | k_{339} | k_{340} | k_{341} | k_{342} | k_{343} | k_{344} | k_{345} | k_{346} | k_{347} | k_{348} | k_{349} | k_{350} | k_{351} | k_{352} | k_{353} | k_{354} | k_{355} | k_{356} | k_{357} | k_{358} | k_{359} | k_{360} | k_{361} | k_{362} | k_{363} | k_{364} | k_{365} | k_{366} | k_{367} | k_{368} | k_{369} | k_{370} | k_{371} | k_{372} | k_{373} | k_{374} | k_{375} | k_{376} | k_{377} | k_{378} | k_{379} | k_{380} | k_{381} | k_{382} | k_{383} | k_{384} | k_{385} | k_{386} | k_{387} | k_{388} | k_{389} | k_{390} | k_{391} | k_{392} | k_{393} | k_{394} | k_{395} | k_{396} | k_{397} | k_{398} | k_{399} | k_{400} | k_{401} | k_{402} | k_{403} | k_{404} | k_{405} | k_{406} | k_{407} | k_{408} | k_{409} | k_{410} | k_{411} | k_{412} | k_{413} | k_{414} | k_{415} | k_{416} | k_{417} | k_{418} | k_{419} | k_{420} | k_{421} | k_{422} | k_{423} | k_{424} | k_{425} | k_{426} | k_{427} | k_{428} | k_{429} | k_{430} | k_{431} | k_{432} | k_{433} | k_{434} | k_{435} | k_{436} | k_{437} | k_{438} | k_{439} | k_{440} | k_{441} | k_{442} | k_{443} | k_{444} | k_{445} | k_{446} | k_{447} | k_{448} | k_{449} | k_{450} | k_{451} | k_{452} | k_{453} | k_{454} | k_{455} | k_{456} | k_{457} | k_{458} | k_{459} | k_{460} | k_{461} | k_{462} | k_{463} | k_{464} | k_{465} | k_{466} | k_{467} | k_{468} | k_{469} | k_{470} | k_{471} | k_{472} | k_{473} | k_{474} | k_{475} | k_{476} | k_{477} | k_{478} | k_{479} | k_{480} | k_{481} | k_{482} | k_{483} | k_{484} | k_{485} | k_{486} | k_{487} | k_{488} | k_{489} | k_{490} | k_{491} | k_{492} | k_{493} | k_{494} | k_{495} | k_{496} | k_{497} | k_{498} | k_{499} | k_{500} | k_{501} | k_{502} | k_{503} | k_{504} | k_{505} | k_{506} | k_{507} | k_{508} | k_{509} | k_{510} | k_{511} | k_{512} | k_{513} | k_{514} | k_{515} | k_{516} | k_{517} | k_{518} | k_{519} | k_{520} | k_{521} | k_{522} | k_{523} | k_{524} | k_{525} | k_{526} | k_{527} | k_{528} | k_{529} | k_{530} | k_{531} | k_{532} | k_{533} | k_{534} | k_{535} | k_{536} | k_{537} | k_{538} | k_{539} | k_{540} | k_{541} | k_{542} | k_{543} | k_{544} | k_{545} | k_{546} | k_{547} | k_{548} | k_{549} | k_{550} | k_{551} | k_{552} | k_{553} | k_{554} | k_{555} | k_{556} | k_{557} | k_{558} | k_{559} | k_{560} | k_{561} | k_{562} | k_{563} | k_{564} | k_{565} | k_{566} | k_{567} | k_{568} | k_{569} | k_{570} | k_{571} | k_{572} | k_{573} | k_{574} | k_{575} | k_{576} | k_{577} | k_{578} | k_{579} | k_{580} | k_{581} | k_{582} | k_{583} | k_{584} | k_{585} | k_{586} | k_{587} | k_{588} | k_{589} | k_{590} | k_{591} | k_{592} | k_{593} | k_{594} | k_{595} | k_{596} | k_{597} | k_{598} | k_{599} | k_{600} | k_{601} | k_{602} | k_{603} | k_{604} | k_{605} | k_{606} | k_{607} | k_{608} | k_{609} | k_{610} | k_{611} | k_{612} | k_{613} | k_{614} | k_{615} | k_{616} | k_{617} | k_{618} | k_{619} | k_{620} | k_{621} | k_{622} | k_{623} | k_{624} | k_{625} | k_{626} | k_{627} | k_{628} | k_{629} | k_{630} | k_{631} | k_{632} | k_{633} | k_{634} | k_{635} | k_{636} | k_{637} | k_{638} | k_{639} | k_{640} | k_{641} | k_{642} | k_{643} | k_{644} | k_{645} | k_{646} | k_{647} | k_{648} | k_{649} | k_{650} | k_{651} | k_{652} | k_{653} | k_{654} | k_{655} | k_{656} | k_{657} | k_{658} | k_{659} | k_{660} | k_{661} | k_{662} | k_{663} | k_{664} | k_{665} | k_{666} | k_{667} | k_{668} | k_{669} | k_{670} | k_{671} | k_{672} | k_{673} | k_{674} | k_{675} | k_{676} | k_{677} | k_{678} | k_{679} | k_{680} | k_{681} | k_{682} | k_{683} | k_{684} | k_{685} | k_{686} | k_{687} | k_{688} | k_{689} | k_{690} | k_{691} | k_{692} | k_{693} | k_{694} | k_{695} | k_{696} | k_{697} | k_{698} | k_{699} | k_{700} | k_{701} | k_{702} | k_{703} | k_{704} | k_{705} | k_{706} | k_{707} | k_{708} | k_{709} | k_{710} | k_{711} | k_{712} | k_{713} | k_{714} | k_{715} | k_{716} | k_{717} | k_{718} | k_{719} | k_{720} | k_{721} | k_{722} | k_{723} | k_{724} | k_{725} | k_{726} | k_{727} | k_{728} | k_{729} | k_{730} | k_{731} | k_{732} | k_{733} | k_{734} | k_{735} | k_{736} | k_{737} | k_{738} | k_{739} | k_{740} | k_{741} | k_{742} | k_{743} | k_{744} | k_{745} | k_{746} | k_{747} | k_{748} | k_{749} | k_{750} | k_{751} | k_{752} | k_{753} | k_{754} | k_{755} | k_{756} | k_{757} | k_{758} | k_{759} | k_{760} | k_{761} | k_{762} | k_{763} | k_{764} | k_{765} | k_{766} | k_{767} | k_{768} | k_{769} | k_{770} | k_{771} | k_{772} | k_{773} | k_{774} | k_{775} | k_{776} | k_{777} | k_{778} | k_{779} | k_{780} | k_{781} | k_{782} | k_{783} | k_{784} | k_{785} | k_{786} | k_{787} | k_{788} | k_{789} | k_{790} | k_{791} | k_{792} | k_{793} | k_{794} | k_{795} | k_{796} | k_{797} | k_{798} | k_{799} | k_{800} | k_{801} | k_{802} | k_{803} | k_{804} | k_{805} | k_{806} | k_{807} | k_{808} | k_{809} | k_{810} | k_{811} | k_{812} | k_{813} | k_{814} | k_{815} | k_{816} | k_{817} | k_{818} | k_{819} | k_{820} | k_{821} | k_{822} | k_{823} | k_{824} | k_{825} | k_{826} | k_{827} | k_{828} | k_{829} | k_{830} | k_{831} |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|

ODREĐIVANJE ZAVISNOSTI UGLA NAGIBA TEKSTURE ZRNA OD REŽIMA OBRADE PRIGLODANJU
MODEL SA MEANSOBNIMA UTICAJEM

| Nivoi faktora: | x_1 (m/s) | x_2 (s/(m ²)) | x_3 (mm) |
|----------------|-------------|-----------------------------|------------|
| 1 | 5,85 | 0,223 | 2,6 |
| 2 | 4,71 | 0,177 | 5,72 |
| 3 | 3,71 | 0,141 | 1,4 |
| 4 | 2,83 | 0,112 | 0,75 |
| 5 | 2,35 | 0,089 | 0,5 |

Materijal pločice: TM K20
 AI 7015 SSM
 Materijal: 20 sek
 Vremena rezanja: 100 mm
 Površnik obradba:

| k | 3 |
|-------|----|
| h | 24 |
| n_1 | 4 |
| n_2 | 7 |

Plan matrice eksperimenata:

| Red. Br. | x_6 | x_1 | x_2 | x_3 | x_{11} | x_{12} | x_{13} | x_{21} | x_{22} | x_{23} | x_{31} | x_{32} | x_{33} | x_{41} | x_{42} | x_{43} | x_{51} | x_{52} | x_{53} | x_{61} | x_{62} | x_{63} | x_{71} | x_{72} | x_{73} | x_{81} | x_{82} | x_{83} | x_{91} | x_{92} | x_{93} | x_{101} | x_{102} | x_{103} | x_{111} | x_{112} | x_{113} | x_{121} | x_{122} | x_{123} | x_{131} | x_{132} | x_{133} | x_{141} | x_{142} | x_{143} | x_{151} | x_{152} | x_{153} | x_{161} | x_{162} | x_{163} | x_{171} | x_{172} | x_{173} | x_{181} | x_{182} | x_{183} | x_{191} | x_{192} | x_{193} | x_{201} | x_{202} | x_{203} | x_{211} | x_{212} | x_{213} | x_{221} | x_{222} | x_{223} | x_{231} | x_{232} | x_{233} | x_{241} | x_{242} | x_{243} | x_{251} | x_{252} | x_{253} | x_{261} | x_{262} | x_{263} | x_{271} | x_{272} | x_{273} | x_{281} | x_{282} | x_{283} | x_{291} | x_{292} | x_{293} | x_{301} | x_{302} | x_{303} | x_{311} | x_{312} | x_{313} | x_{321} | x_{322} | x_{323} | x_{331} | x_{332} | x_{333} | x_{341} | x_{342} | x_{343} | x_{351} | x_{352} | x_{353} | x_{361} | x_{362} | x_{363} | x_{371} | x_{372} | x_{373} | x_{381} | x_{382} | x_{383} | x_{391} | x_{392} | x_{393} | x_{401} | x_{402} | x_{403} | x_{411} | x_{412} | x_{413} | x_{421} | x_{422} | x_{423} | x_{431} | x_{432} | x_{433} | x_{441} | x_{442} | x_{443} | x_{451} | x_{452} | x_{453} | x_{461} | x_{462} | x_{463} | x_{471} | x_{472} | x_{473} | x_{481} | x_{482} | x_{483} | x_{491} | x_{492} | x_{493} | x_{501} | x_{502} | x_{503} | x_{511} | x_{512} | x_{513} | x_{521} | x_{522} | x_{523} | x_{531} | x_{532} | x_{533} | x_{541} | x_{542} | x_{543} | x_{551} | x_{552} | x_{553} | x_{561} | x_{562} | x_{563} | x_{571} | x_{572} | x_{573} | x_{581} | x_{582} | x_{583} | x_{591} | x_{592} | x_{593} | x_{601} | x_{602} | x_{603} | x_{611} | x_{612} | x_{613} | x_{621} | x_{622} | x_{623} | x_{631} | x_{632} | x_{633} | x_{641} | x_{642} | x_{643} | x_{651} | x_{652} | x_{653} | x_{661} | x_{662} | x_{663} | x_{671} | x_{672} | x_{673} | x_{681} | x_{682} | x_{683} | x_{691} | x_{692} | x_{693} | x_{701} | x_{702} | x_{703} | x_{711} | x_{712} | x_{713} | x_{721} | x_{722} | x_{723} | x_{731} | x_{732} | x_{733} | x_{741} | x_{742} | x_{743} | x_{751} | x_{752} | x_{753} | x_{761} | x_{762} | x_{763} | x_{771} | x_{772} | x_{773} | x_{781} | x_{782} | x_{783} | x_{791} | x_{792} | x_{793} | x_{801} | x_{802} | x_{803} | x_{811} | x_{812} | x_{813} | x_{821} | x_{822} | x_{823} | x_{831} | x_{832} | x_{833} | x_{841} | x_{842} | x_{843} | x_{851} | x_{852} | x_{853} | x_{861} | x_{862} | x_{863} | x_{871} | x_{872} | x_{873} | x_{881} | x_{882} | x_{883} | x_{891} | x_{892} | x_{893} | x_{901} | x_{902} | x_{903} | x_{911} | x_{912} | x_{913} | x_{921} | x_{922} | x_{923} | x_{931} | x_{932} | x_{933} | x_{941} | x_{942} | x_{943} | x_{951} | x_{952} | x_{953} | x_{961} | x_{962} | x_{963} | x_{971} | x_{972} | x_{973} | x_{981} | x_{982} | x_{983} | x_{991} | x_{992} | x_{993} | x_{1001} | x_{1002} | x_{1003} | x_{1011} | x_{1012} | x_{1013} | x_{1021} | x_{1022} | x_{1023} | x_{1031} | x_{1032} | x_{1033} | x_{1041} | x_{1042} | x_{1043} | x_{1051} | x_{1052} | x_{1053} | x_{1061} | x_{1062} | x_{1063} | x_{1071} | x_{1072} | x_{1073} | x_{1081} | x_{1082} | x_{1083} | x_{1091} | x_{1092} | x_{1093} | x_{1101} | x_{1102} | x_{1103} | x_{1111} | x_{1112} | x_{1113} | x_{1121} | x_{1122} | x_{1123} | x_{1131} | x_{1132} | x_{1133} | x_{1141} | x_{1142} | x_{1143} | x_{1151} | x_{1152} | x_{1153} | x_{1161} | x_{1162} | x_{1163} | x_{1171} | x_{1172} | x_{1173} | x_{1181} | x_{1182} | x_{1183} | x_{1191} | x_{1192} | x_{1193} | x_{1201} | x_{1202} | x_{1203} | x_{1211} | x_{1212} | x_{1213} | x_{1221} | x_{1222} | x_{1223} | x_{1231} | x_{1232} | x_{1233} | x_{1241} | x_{1242} | x_{1243} | x_{1251} | x_{1252} | x_{1253} | x_{1261} | x_{1262} | x_{1263} | x_{1271} | x_{1272} | x_{1273} | x_{1281} | x_{1282} | x_{1283} | x_{1291} | x_{1292} | x_{1293} | x_{1301} | x_{1302} | x_{1303} | x_{1311} | x_{1312} | x_{1313} | x_{1321} | x_{1322} | x_{1323} | x_{1331} | x_{1332} | x_{1333} | x_{1341} | x_{1342} | x_{1343} | x_{1351} | x_{1352} | x_{1353} | x_{1361} | x_{1362} | x_{1363} | x_{1371} | x_{1372} | x_{1373} | x_{1381} | x_{1382} | x_{1383} | x_{1391} | x_{1392} | x_{1393} | x_{1401} | x_{1402} | x_{1403} | x_{1411} | x_{1412} | x_{1413} | x_{1421} | x_{1422} | x_{1423} | x_{1431} | x_{1432} | x_{1433} | x_{1441} | x_{1442} | x_{1443} | x_{1451} | x_{1452} | x_{1453} | x_{1461} | x_{1462} | x_{1463} | x_{1471} | x_{1472} | x_{1473} | x_{1481} | x_{1482} | x_{1483} | x_{1491} | x_{1492} | x_{1493} | x_{1501} | x_{1502} | x_{1503} | x_{1511} | x_{1512} | x_{1513} | x_{1521} | x_{1522} | x_{1523} | x_{1531} | x_{1532} | x_{1533} | x_{1541} | x_{1542} | x_{1543} | x_{1551} | x_{1552} | x_{1553} | x_{1561} | x_{1562} | x_{1563} | x_{1571} | x_{1572} | x_{1573} | x_{1581} | x_{1582} | x_{1583} | x_{1591} | x_{1592} | x_{1593} | x_{1601} | x_{1602} | x_{1603} | x_{1611} | x_{1612} | x_{1613} | x_{1621} | x_{1622} | x_{1623} | x_{1631} | x_{1632} | x_{1633} | x_{1641} | x_{1642} | x_{1643} | x_{1651} | x_{1652} | x_{1653} | x_{1661} | x_{1662} | x_{1663} | x_{1671} | x_{1672} | x_{1673} | x_{1681} | x_{1682} | x_{1683} | x_{1691} | x_{1692} | x_{1693} | x_{1701} | x_{1702} | x_{1703} | x_{1711} | x_{1712} | x_{1713} | x_{1721} | x_{1722} | x_{1723} | x_{1731} | x_{1732} | x_{1733} | x_{1741} | x_{1742} | x_{1743} | x_{1751} | x_{1752} | x_{1753} | x_{1761} | x_{1762} | x_{1763} | x_{1771} | x_{1772} | x_{1773} | x_{1781} | x_{1782} | x_{1783} | x_{1791} | x_{1792} | x_{1793} | x_{1801} | x_{1802} | x_{1803} | x_{1811} | x_{1812} | x_{1813} | x_{1821} | x_{1822} | x_{1823} | x_{1831} | x_{1832} | x_{1833} | x_{1841} | x_{1842} | x_{1843} | x_{1851} | x_{1852} | x_{1853} | x_{1861} | x_{1862} | x_{1863} | x_{1871} | x_{1872} | x_{1873} | x_{1881} | x_{1882} | x_{1883} | x_{1891} | x_{1892} | x_{1893} | x_{1901} | x_{1902} | x_{1903} | x_{1911} | x_{1912} | x_{1913} | x_{1921} | x_{1922} | x_{1923} | x_{1931} | x_{1932} | x_{1933} | x_{1941} | x_{1942} | x_{1943} | x_{1951} | x_{1952} | x_{1953} | x_{1961} | x_{1962} | x_{1963} | x_{1971} | x_{1972} | x_{1973} | x_{1981} | x_{1982} | x_{1983} | x_{1991} | x_{1992} | x_{1993} | x_{2001} | x_{2002} | x_{2003} | x_{2011} | x_{2012} | x_{2013} | x_{2021} | x_{2022} | x_{2023} | x_{2031} | x_{2032} | x_{2033} | x_{2041} | x_{2042} | x_{2043} | x_{2051} | x_{2052} | x_{2053} | x_{2061} | x_{2062} | x_{2063} | x_{2071} | x_{2072} | x_{2073} | x_{2081} | x_{2082} | x_{2083} | x_{2091} | x_{2092} | x_{2093} | x_{2101} | x_{2102} | x_{2103} | x_{2111} | x_{2112} | x_{2113} | x_{2121} | x_{2122} | x_{2123} | x_{2131} | x_{2132} | x_{2133} | x_{2141} | x_{2142} | x_{2143} | x_{2151} | x_{2152} | x_{2153} | x_{2161} | x_{2162} | x_{2163} | x_{2171} | x_{2172} | x_{2173} | x_{2181} | x_{2182} | x_{2183} | x_{2191} | x_{2192} | x_{2193} | x_{2201} | x_{2202} | x_{2203} | x_{2211} | x_{2212} | x_{2213} | x_{2221} | x_{2222} | x_{2223} | x_{2231} | x_{2232} | x_{2233} | x_{2241} | x_{2242} | x_{2243} | x_{2251} | x_{2252} | x_{2253} | x_{2261} | x_{2262} | x_{2263} | x_{2271} | x_{2272} | x_{2273} | x_{2281} | x_{2282} | x_{2283} | x_{2291} | x_{2292} | x_{2293} | x_{2301} | x_{2302} | x_{2303} | x_{2311} | x_{2312} | x_{2313} | x_{2321} | x_{2322} | x_{2323} | x_{2331} | x_{2332} | x_{2333} | x_{2341} | x_{2342} | x_{2343} | x_{2351} | x_{2352} | x_{2353} | x_{2361} | x_{2362} | x_{2363} | x_{2371} | x_{2372} | x_{2373} | x_{2381} | x_{2382} | x_{2383} | x_{2391} | x_{2392} | x_{2393} | x_{2401} | x_{2402} | x_{2403} | x_{2411} | x_{2412} | x_{2413} | x_{2421} | x_{2422} | x_{2423} | x_{2431} | x_{2432} | x_{2433} | x_{2441} | x_{2442} | x_{2443} | x_{2451} | x_{2452} | x_{2453} | x_{2461} | x_{2462} | x_{2463} | x_{2471} | x_{2472} | x_{2473} | x_{2481} | x_{2482} | x_{2483} | x_{2491} | x_{2492} | x_{2493} | x_{2501} | x_{2502} | x_{2503} | x_{2511} | x_{2512} | x_{2513} | x_{2521} | x_{2522} | x_{2523} | x_{2531} | x_{2532} | x_{2533} | x_{2541} | x_{2542} | x_{2543} | x_{2551} | x_{2552} | x_{2553} | x_{2561} | x_{2562} | x_{2563} | x_{2571} | x_{2572} | x_{2573} | x_{2581} | x_{2582} | x_{2583} | x_{2591} | x_{2592} | x_{2593} | x_{2601} | x_{2602} | x_{2603} | x_{2611} | x_{2612} | x_{2613} | x_{2621} | x_{2622} | x_{2623} | x_{2631} | x_{2632} | x_{2633} | x_{2641} | x_{2642} |
|----------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|----------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|

Tabela P1. Fisher-ov raspodela $\alpha = 0,01$

| f_E | f_i, f_a | | | | | | | | | |
|-------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 4052 | 4999 | 5403 | 5625 | 5764 | 5859 | 5928 | 5982 | 6022 | 6056 |
| 2 | 98,5 | 99,0 | 99,3 | 99,3 | 99,3 | 99,4 | 99,4 | 99,4 | 99,4 | 99,4 |
| 3 | 34,1 | 30,8 | 29,5 | 28,7 | 28,2 | 27,9 | 27,7 | 27,5 | 27,3 | 27,2 |
| 4 | 21,2 | 18,0 | 16,7 | 16,0 | 15,5 | 15,2 | 15,0 | 14,8 | 14,7 | 14,5 |
| 5 | 16,3 | 13,3 | 12,1 | 11,4 | 11,0 | 10,7 | 10,5 | 10,3 | 10,2 | 10,1 |
| 6 | 13,7 | 10,9 | 9,78 | 9,15 | 8,75 | 8,26 | 8,10 | 7,98 | 7,87 | 7,56 |
| 7 | 12,2 | 9,55 | 8,45 | 7,85 | 7,46 | 7,19 | 6,99 | 6,84 | 6,72 | 6,62 |
| 8 | 11,3 | 8,65 | 7,59 | 7,01 | 6,63 | 6,37 | 6,18 | 6,03 | 5,91 | 5,81 |
| 9 | 10,6 | 8,02 | 6,99 | 6,42 | 6,06 | 5,80 | 5,61 | 5,47 | 5,35 | 5,26 |
| 10 | 10,0 | 7,56 | 6,55 | 5,99 | 5,64 | 5,39 | 5,20 | 5,06 | 4,94 | 4,85 |
| 11 | 9,65 | 7,21 | 6,22 | 5,67 | 5,32 | 5,07 | 4,89 | 4,74 | 4,63 | 4,54 |
| 12 | 9,33 | 6,93 | 5,95 | 5,41 | 5,06 | 4,82 | 4,64 | 4,50 | 4,39 | 4,30 |
| 13 | 9,07 | 6,70 | 5,74 | 5,21 | 4,86 | 4,62 | 4,44 | 4,30 | 4,19 | 4,10 |
| 14 | 8,86 | 6,51 | 5,56 | 5,04 | 4,70 | 4,46 | 4,28 | 4,14 | 4,03 | 3,94 |
| 15 | 8,68 | 6,36 | 5,42 | 4,89 | 4,56 | 4,32 | 4,14 | 4,00 | 3,89 | 3,80 |
| 16 | 8,53 | 6,23 | 5,29 | 4,77 | 4,44 | 4,20 | 4,03 | 3,89 | 3,78 | 3,69 |
| 17 | 8,40 | 6,11 | 5,18 | 4,67 | 4,34 | 4,10 | 3,93 | 3,79 | 3,68 | 3,68 |
| 18 | 8,29 | 6,01 | 5,09 | 4,58 | 4,25 | 4,01 | 3,84 | 3,71 | 3,60 | 3,51 |
| 19 | 8,18 | 5,93 | 5,01 | 4,50 | 4,17 | 3,94 | 3,77 | 3,63 | 3,52 | 3,43 |
| 20 | 8,10 | 5,85 | 4,94 | 4,43 | 4,10 | 3,87 | 3,70 | 3,56 | 3,46 | 3,37 |

Tabela P2. Fisher-ov raspodela $\alpha = 0,05$

| f_E | f_i, f_a | | | | | | | | |
|-------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 161 | 200 | 216 | 225 | 230 | 234 | 237 | 239 | 241 |
| 2 | 18,5 | 19,0 | 19,2 | 19,2 | 19,3 | 19,3 | 19,4 | 19,4 | 19,4 |
| 3 | 10,1 | 9,55 | 9,28 | 9,12 | 9,01 | 8,94 | 8,89 | 8,85 | 8,81 |
| 4 | 7,71 | 6,94 | 6,59 | 6,39 | 6,26 | 6,16 | 6,09 | 6,04 | 6,00 |
| 5 | 6,61 | 5,79 | 5,41 | 5,19 | 5,05 | 4,95 | 4,88 | 4,82 | 4,77 |
| 6 | 5,99 | 5,14 | 4,76 | 4,53 | 4,39 | 4,28 | 4,21 | 4,15 | 4,10 |
| 7 | 5,59 | 4,74 | 4,35 | 4,12 | 3,97 | 3,87 | 3,79 | 3,73 | 3,68 |
| 8 | 5,32 | 4,46 | 4,07 | 3,84 | 3,69 | 3,58 | 3,50 | 3,44 | 3,39 |
| 9 | 5,12 | 4,26 | 3,86 | 3,63 | 3,48 | 3,37 | 3,29 | 3,23 | 3,18 |
| 10 | 4,96 | 4,10 | 3,71 | 3,48 | 3,33 | 3,22 | 3,14 | 3,07 | 3,02 |
| 11 | 4,84 | 3,98 | 3,59 | 3,36 | 3,20 | 3,09 | 3,01 | 2,95 | 2,90 |
| 12 | 4,75 | 3,89 | 3,49 | 3,26 | 3,11 | 3,00 | 2,91 | 2,85 | 2,80 |
| 13 | 4,67 | 3,81 | 3,41 | 3,18 | 3,03 | 2,92 | 2,83 | 2,77 | 2,71 |
| 14 | 4,60 | 3,74 | 3,34 | 3,11 | 2,96 | 2,85 | 2,76 | 2,70 | 2,65 |
| 15 | 4,54 | 3,68 | 3,29 | 3,06 | 2,90 | 2,79 | 2,71 | 2,64 | 2,59 |
| 16 | 4,49 | 3,63 | 3,24 | 3,01 | 2,85 | 2,74 | 2,66 | 2,59 | 2,54 |
| 17 | 4,45 | 3,59 | 3,20 | 2,96 | 2,81 | 2,70 | 2,61 | 2,55 | 2,49 |
| 18 | 4,41 | 3,55 | 3,16 | 2,93 | 2,77 | 2,66 | 2,58 | 2,51 | 2,46 |
| 19 | 4,38 | 3,52 | 3,13 | 2,90 | 2,74 | 2,63 | 2,54 | 2,48 | 2,42 |
| 20 | 4,35 | 3,49 | 3,10 | 2,87 | 2,71 | 2,60 | 2,51 | 2,45 | 2,39 |
| 22 | 4,30 | 3,44 | 3,05 | 2,82 | 2,66 | 2,55 | 2,46 | 2,40 | 2,34 |
| 24 | 4,26 | 3,40 | 3,01 | 2,78 | 2,62 | 2,51 | 2,42 | 2,36 | 2,30 |
| 26 | 4,23 | 3,37 | 2,98 | 2,74 | 2,59 | 2,47 | 2,39 | 2,32 | 2,27 |
| 28 | 4,20 | 3,34 | 2,95 | 2,71 | 2,56 | 2,45 | 2,36 | 2,29 | 2,24 |
| 30 | 4,17 | 3,32 | 2,92 | 2,69 | 2,53 | 2,42 | 2,33 | 2,27 | 2,21 |

Tabela P3. Studentova raspodela

| f | A | | | | |
|----------|------|------|-------|-------|-------|
| | 0,1 | 0,05 | 0,025 | 0,01 | 0,005 |
| 1 | 3,08 | 6,31 | 12,70 | 31,80 | 63,70 |
| 2 | 1,89 | 2,92 | 4,30 | 6,96 | 9,92 |
| 3 | 1,64 | 2,35 | 3,18 | 4,54 | 5,84 |
| 4 | 1,53 | 2,13 | 2,78 | 3,75 | 4,60 |
| 5 | 1,48 | 2,01 | 2,57 | 3,36 | 4,03 |
| 6 | 1,44 | 1,94 | 2,45 | 3,14 | 3,71 |
| 7 | 1,42 | 1,89 | 2,36 | 3,00 | 3,50 |
| 8 | 1,40 | 1,86 | 2,31 | 2,90 | 3,36 |
| 9 | 1,38 | 1,83 | 2,26 | 2,82 | 3,25 |
| 10 | 1,37 | 1,81 | 2,23 | 2,76 | 3,17 |
| 11 | 1,36 | 1,80 | 2,20 | 2,72 | 3,11 |
| 12 | 1,36 | 1,78 | 2,18 | 2,68 | 3,05 |
| 13 | 1,35 | 1,77 | 2,16 | 2,65 | 3,01 |
| 14 | 1,34 | 1,76 | 2,14 | 2,62 | 2,98 |
| 15 | 1,34 | 1,75 | 2,13 | 2,60 | 2,95 |
| 16 | 1,34 | 1,75 | 2,12 | 2,58 | 2,92 |
| 17 | 1,33 | 1,74 | 2,11 | 2,57 | 2,90 |
| 18 | 1,33 | 1,73 | 2,10 | 2,55 | 2,88 |
| 19 | 1,33 | 1,73 | 2,09 | 2,54 | 2,86 |
| 20 | 1,32 | 1,72 | 2,09 | 2,53 | 2,85 |
| 21 | 1,32 | 1,72 | 2,08 | 2,52 | 2,83 |
| 22 | 1,32 | 1,72 | 2,07 | 2,51 | 2,82 |
| 23 | 1,32 | 1,71 | 2,07 | 2,50 | 2,81 |
| 24 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,49 | 2,80 |
| 25 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,48 | 2,79 |
| 26 | 1,32 | 1,71 | 2,06 | 2,48 | 2,78 |
| 27 | 1,31 | 1,70 | 2,05 | 2,47 | 2,77 |
| 28 | 1,31 | 1,70 | 2,05 | 2,47 | 2,76 |
| 29 | 1,31 | 1,70 | 2,05 | 2,46 | 2,76 |
| 30 | 1,31 | 1,70 | 2,04 | 2,46 | 2,75 |
| 40 | 1,30 | 1,68 | 2,02 | 2,42 | 2,70 |
| 60 | 1,30 | 1,67 | 2,00 | 2,39 | 2,66 |
| 120 | 1,29 | 1,66 | 1,98 | 2,36 | 2,62 |
| ∞ | 1,28 | 1,64 | 1,96 | 2,33 | 2,58 |



IHP Prva petoletka
FIZIČKO-HEMIJSKA
LABORATORIJA
 Trstenik
 Cara Dušana 101

IZVEŠTAJ
 O ISPITIVANJU MATERIJALA
 Br.126

Poručilac izveštaja - naziv
 " Tehnički fakultet"

List
 1

Šifra poručioca (adresa)
 Novi Sad

Listova
 1

PODACI O PROIZVODU

| | | | | | |
|---------------|-----------|----------------|--|---------------|-------------|
| Naziv-br.dela | Uzorak LM | | | Količina | |
| Materijal | Al ? | Br. rad.naloga | | Br. prijema | |
| Isporučilac | | Br. otpremnice | | Datum prijema | 12.06.2015. |
| Proizvođač | | Br. šarže | | Broj uzoraka | 1 |

I HEMIJSKI SASTAV

Br. dnevnika:25

| Elementi u % | Cu | Mn | Mg | Si | Fe | Zn | Ti | Cr | | |
|---------------------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|--|----------------------|
| Propisane vrednosti | od | | | | | | | | | |
| | do | | | | | | | | | |
| Dobijene vrednosti | 1,65 | 0,025 | 2,52 | 0,10 | 0,18 | 5,80 | 0,025 | 0,20 | | → AlZn5,5MgCu (7075) |

Ispitao: M.Lazarević

II MEHANIČKE OSOBINE

Br. Dnevnika:

| Osobine | Rp _{0,2} N/mm ² | Rm N/mm ² | A % | Z % | K J | Tvrdoća |
|--------------------|--|-------------------------|--------|--------|--------|---------|
| Propisane | | | | | | |
| Dobijene vrednosti | | | | | | |

Ispitao:

Ispitao:

Datum:12.06.2015.

Upravnik:

Rezultati ispitivanja se odnose samo na ispitani uzorak. Ovaj dokument je vlasništvo FHL i isti se može koristiti, štampati ili umnožiti samo uz pismenu saglasnost ovlašćenog lica IHP Prve petoletke (član 163 Krivičnog zakona).