



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



ОПТИМИЗАЦИЈА ГЕОМЕТРИЈСКИХ ПАРАМЕТАРА РЕЗНИХ ПЛОЧИЦА У ОПЕРАЦИЈАМА СТРУГАЊА

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментор:

Проф. др Ђорђе Вукелић

Кандидат:

Маст. инж. маш. Горан Јовичић

Нови Сад, 2024. год.

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА¹

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Горан Јовичић
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција):	Др Ђорђе Вукелић, редовни професор, Факултет техничких наука, Нови Сад
Наслов рада:	Оптимизација геометријских параметара резних плочица у операцијама стругања
Језик публикације (писмо):	Српски (ћирилица)
Физички опис рада:	Унети број: Страница 134 Поглавља 10 Референци 235 Табела 30 Слика 20 Графикона 0 Прилога 0
Научна област:	Машинско инжењерство
Ужа научна област (научна дисциплина):	Метрологија, квалитет, еколошко инжењерски аспекти, алати и прибори
Кључне речи / предметна одредница:	Резни алат, резне плочице, стругање, оптимизација
Резиме на језику рада:	У докторској дисертацији проучавано је стругање легуре инконел 601, без примене средства за хлађење и подмазивање, са ПВД обложеним резним плочицама. Стругање је извршено са различитим брзинама резања, помацима, облицима резних плочица, радијусима врха, грудним угловима и нападним угловима. Након обраде мерена је средња аритметичка храпавост обрађене површине и леђно

¹ Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије и о личним подацима;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају на факултету у штампаном и електронском облику и не корице се са тезом.

	хабање резне плочице, а рачуната је стопа уклањања материјала. Ефекти улазних на излазне параметара процењени су уз помоћ анализа варијансе. За измерене вредности, процес је моделиран употребом вештачких неуронских мрежа. На основу добијеног модела, оптимизовани су параметри процеса стругања применом генетског алгорита. Функција циља је била истовремена минимизација средње аритметичке храпавости обрађене површине и леђног хабања резне плочице, као и максимизација стопе уклањања материјала. Тачност модела и оптималне вредности додатно су валидиране кроз конфирмационе експерименте. Добијене процентуалне и апсолутне грешке указују на могућност практичне примене хибридног приступа за моделовање и оптимизацију процеса стругања легуре инконел 601.
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	21.12.2023.
Датум одбране: (Попуњава одговарајућа служба)	
Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)	Председник: Др Слободан Митровић, редовни професор Члан: Др Горан Шимуновић, редовни професор Члан: Др Жељко Кановић, редовни професор Члан: Др Борислав Савковић, ванредни професор Члан: Др Марио Шокац, доцент Ментор: Др Ђорђе Вукелић, редовни професор
Напомена:	

KEY WORD DOCUMENTATION²

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Goran Jovicic
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	PhD Djordje Vukelic, full professor, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad
Thesis title:	Optimization of the geometric parameters of cutting inserts for turning operations
Language of text (script):	Serbian language (cyrillic)
Physical description:	Number of: Pages 134 Chapters 10 References 235 Tables 30 Illustrations 20 Graphs 0 Appendices 0
Scientific field:	Mechanical Engineering
Scientific subfield (scientific discipline):	Metrology, Quality, Ecological Engineering Aspects, Tools and Fixtures
Subject, Key words:	Cutting tool, cutting insert, turning, optimization
Abstract in English language:	The doctoral dissertation investigated the dry turning of Inconel 601 in a dry environment with PVD-coated inserts. Turning was performed at different cutting speeds, feeds, insert shapes, corner radii, rake and approach angles. After machining, the arithmetic mean surface roughness and flank wear were measured and the material removal rate was calculated. An analysis of variance was performed to determine the effects of the turning input parameters. For the measured values, the turning process was modelled using an artificial neural networks. Based on the model obtained, the process parameters were optimized using a genetic

² The author of doctoral dissertation has signed the following Statements:

56 – Statement on the authority,

5B – Statement that the printed and e-version of doctoral dissertation are identical and about personal data,

5r – Statement on copyright licenses.

The paper and e-versions of Statements are held at the faculty and are not included into the printed thesis.

	algorithm. The objective function was to simultaneously minimize the arithmetic mean surface roughness and flank wear and maximize the material removal rate. The accuracy of the model and the optimal values were further validated by confirmation experiments. The percentage and absolute errors show the possibility of practical implementation of the hybrid approach for modelling and optimization of dry turning of Inconel 601 alloy.
Accepted on Scientific Board on:	21.12.2023.
Defended: (Filled by the faculty service)	
Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)	President: PhD Slobodan Mitrovic, full professor Member: PhD Goran Simunovic, full professor Member: PhD Zeljko Kanovic, full professor Member: PhD Borislav Savkovic, associate professor Member: PhD Mario Sokac, assistant professor Mentor: PhD Djordje Vukelic, full professor
Note:	

РЕЗИМЕ

Резултати истраживања изложени у докторској дисертацији, произашли су из научно-истраживачког рада аутора у области моделирања и оптимизације у машинском инжењерству, посебно у делу који се односи на резне алате.

Сprovedена истраживања су реализована кроз десет поглавља.

У поглављу *Увод* дефинисан су проблем и предмет истраживања.

У поглављу *Преглед постојећег стања* приказане су најбитније карактеристике претходних истраживања у подручју стругања легура инконел. Посебна пажња је скренута на начин обраде, материјал обрадка, примењене методе, као и на улазне и излазне параметре који су разматрани и анализирани у претходним истраживањима.

У поглављу *Циљеви истраживања и научне хипотезе*, на основу критичког осврта на досадашња истраживања и уочених недостатака, дефинисани су циљеви истраживања заједно са научним хипотезама.

У поглављу *Методологија* дефинисана је структура и основни кораци по којима су спроведена истраживања. Додатно, представљени су материјали, методе и опрема који су употребљени у експерименталним истраживањима.

У поглављу *Експериментална истраживања* за различите комбинације улазних параметара приказани су резултати мерења и израчунавања излазних параметара. Добијени експериментални резултати статистички су анализирани како би се утврдила значајност и степен утицаја улазних параметара на излазне параметре процеса обраде.

У поглављу *Моделирање процеса* приказано је моделовање процеса стругања за дефинисане улазне и излазне параметре. Моделирање модела различите архитектуре вештачке неуронске мреже, спроведено је кроз неколико алгоритама обуке у циљу одређивања најадекватнијег. Валидација модела извршена је кроз конфирмационе експерименте са улазним параметрима са којима није извршено обучавање, тестирање и валидација вештачких неуронских мрежа. Резултати предикције и мерења су упоређени преко процентуалних и апсолутних грешака.

У поглављу *Вишекритеријумска оптимизација процеса* спроведена је оптимизација улазних параметара, на основу дефинисане функције циља, за различите вредности тежинских фактора, а у складу са дефинисаним ограничењима под којима су спроведена истраживања. За оптималне улазне параметре спроведени су додатни конфирмациони експерименти, а процена успешности извршена је на бази добијених грешака.

У поглављу *Дискусија* извршена је анализа и дискусија добијених резултата.

У поглављу *Закључци* истакнути су главни резултати истраживања, оцена резултата истраживања, иновативност и предности примењене методологије, ограничења примењене методологије, као и правци будућих истраживања.

У поглављу *Литература* наведне су референце употребљене током израде докторске дисертације.

ABSTRACT

The research results presented in the doctoral dissertation originate from the author's scientific research work in the field of modeling and optimization in mechanical engineering, especially in the part related to cutting tools.

The research carried out was realized in ten chapters.

In the *Introduction* chapter defines the problem and the subject of the research.

In the chapter *Review of the current literature*, the most important features of previous research in the field of turning Inconel alloys are presented. Particular attention was paid to the turning process, the workpiece material, the methods used and the input and output parameters that have been considered and analyzed in the previous studies.

In the chapter *Research objectives and scientific hypotheses*, the research objectives are defined together with the scientific hypotheses on the basis of a critical review of previous research and the shortcomings identified.

In the *Methodology* chapter defines the structure and basic steps with which the research was conducted. The materials, methods and equipment used in the experimental research are also presented.

In the chapter *Experimental research* for different combinations of input parameters, the results of the measurement and calculation of the output parameters are presented. The experimental results obtained were statistically analyzed to determine the significance and degree of influence of the input parameters on the output parameters of the turning process.

The chapter *Process modeling* shows the modeling of the turning process for defined input and output parameters. The modeling of the model, different architectures of the artificial neural network, was performed by several training algorithms to determine the most suitable one. The validation of the model was performed by confirmation experiments with input parameters that were not used to train, test and validate the artificial neural network. The prediction and measurement results were compared using the percentage and absolute errors.

In the chapter *Multi-criteria optimization of the process*, the optimization of the input parameters was performed based on the defined objective function for different values of the weighting factors and in accordance with the defined limits under which the research was conducted. Additional confirmation experiments were performed for the optimal input parameters and the performance evaluation was based on the errors obtained.

In the *Discussion* chapter, the results were analyzed and discussed.

The *Conclusions* chapter highlights the main findings of the research, the evaluation of the research results, the innovation and advantages of the methodology used, the limitations of the methodology used and future research directions.

The references used in the preparation of the doctoral dissertation are listed in the *Literature* chapter.

ЗАХВАЛНИЦА

Пријатна ми је дужност да изразим велику захвалност члановима комисије Проф. др Слободану Митровићу, Проф. др Горану Шимуновићу, Проф. др Жељку Кановићу, Ванр. проф. др Бориславу Савковићу, Доц. др Мариу Шокцу и ментору Проф. др Ђорђу Вукелићу. Њихове су сугестије, савети и подршка имали пресудан утицај на коначна решења приказана у докторској дисертацији.

Користим ову прилику да се захвалим својим колегама и пријатељима који су на било који начин помогли при изради докторске дисертације.

Такође, изражавам посебну захвалност својој породици на разумевању и помоћи када ми је то највише требало. Зато овај рад сматрам и њиховом успехом.

САДРЖАЈ:

1. УВОД.....	1
2. ПРЕГЛЕД ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА	5
3. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА И НАУЧНЕ ХИПОТЕЗЕ.....	32
4. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА.....	33
5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА.....	37
5.1. Резултати експерименталних истраживања.....	37
5.2. Статистичка обрада измерених резултата	43
6. МОДЕЛИРАЊЕ ПРОЦЕСА.....	49
6.1. Развој АНН модела.....	50
6.2. Алгоритми обуке АНН модела.....	51
6.2.1. Развој АНН модела применом <i>Levenberg-Marquardt</i> алгоритма.....	53
6.2.2. Развој АНН модела применом <i>Bayesian Regularization</i> алгоритма	55
6.2.3. Развој АНН модела применом <i>Scaled Conjugate Gradient Backpropagation</i> алгоритма.....	56
6.3. Предикција применом развијених АНН модела.....	58
6.4. Конфирмација развијених АНН модела	91
7. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКА ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОЦЕСА	98
7.1. Оптимизација процеса.....	101
7.2. Резултати оптимизације	103
8. ДИСКУСИЈА	107
9. ЗАКЉУЧЦИ	110
10. ЛИТЕРАТУРА.....	113
План третмана података.....	I

СПИСАК СЛИКА

- Слика 4.1. Методологија истраживања.
- Слика 4.2. Процес мерења (а) средња аритметичка храпавост површине, (б) леђно хабање.
- Слика 5.1. Зависност храпавости од улазних промењивих.
- Слика 5.2. Зависност хабања алата од улазних промењивих.
- Слика 5.3. Провера претпоставке о нормалној расподели (дистрибуцији) резидуала грешки.
- Слика 5.4. Интерно студентизирани резидуали за површинску храпавост у односу на (а) предвиђене вредности (израчунате моделом), (б) редослед извођења експеримента.
- Слика 5.5. Интерно студентизирани резидуали за леђно хабање у односу на (а) предвиђене вредности (израчунате моделом), (б) редослед извођења експеримента.
- Слика 6.1. Општи концепт развоја вештачких неуронских мрежа (АНН модела).
- Слика 6.2. Архитектура АНН модела.
- Слика 6.3. Приказ оптималних резултата обуке применом Levenberg-Marquardt алгоритма (АНН архитектура са 4 неурона у скривеном слоју а) процес обуке, б) регресија, ц) перформансе, д) хистограм грешке.
- Слика 6.4. Приказ оптималних резултата обуке применом Bayesian Regularization алгоритма (АНН архитектура са 4 неурона у скривеном слоју а) процес обуке, б) регресија, ц) перформансе, д) хистограм грешке.
- Слика 6.5. Приказ оптималних резултата обуке применом Scaled Conjugate Gradient Backpropagation алгоритма (АНН архитектура са 6 неурона у скривеном слоју а) процес обуке, б) регресија, ц) перформансе, д) хистограм грешке.
- Слика 6.6. Графичка интерпретација добијених минималних, максималних и средњих аритметичких вредности процентуалних и апсолутних грешки за средњу аритметичку храпавост за различите алгоритме током обуке, валидације и тестирања.
- Слика 6.7. Графичка интерпретација добијених минималних, максималних и средњих аритметичких вредности процентуалних и апсолутних грешки за леђно хабање за различите алгоритме током обуке, валидације и тестирања.

- Слика 6.8. Графичка интерпретација добијених минималних, максималних и средњих аритметичких вредности процентуалних и апсолутних грешки за средњу аритметичку хртавости за различите алгоритме за конфирмационе експерименте.
- Слика 6.9. Графичка интерпретација добијених минималних, максималних и средњих аритметичких вредности процентуалних и апсолутних грешки за леђно хабање за различите алгоритме за конфирмационе експерименте.
- Слика 7.1. Структура генетског алгоритма.
- Слика 7.2. Дијаграм тока стандардног генетског алгоритма.
- Слика 7.3. Примери конвергенције генетског алгоритма за реалне вредности улазних параметара.
- Слика 7.4. Примери конвергенције генетског алгоритма за теоретске вредности улазних параметара.

СПИСАК ТАБЕЛА

- Табела 2.1. Основне карактеристике примењених приступа и развијених методологија.
- Табела 4.1. Хемијски састав легуре инконел 601.
- Табела 4.2. Механичке, физичке и термичке карактеристике легуре инконел 601.
- Табела 4.3. Карактеристике механички причвршћених резних плочица употребљених у експерименталним истраживањима.
- Табела 5.1. Резултати мерења и израчунавања.
- Табела 5.2. АНОВА за изабрани факторски модел храпавости.
- Табела 5.3. Сумарни показатељи за изабрани факторски модел храпавости.
- Табела 5.4. АНОВА за изабрани факторски модел хабања алата.
- Табела 5.5. Сумарни показатељи за изабрани факторски модел хабања алата.
- Табела 6.1. Приказ итеративних резултата обуке применом Levenberg-Marquardt алгоритма.
- Табела 6.2. Приказ итеративних резултата обуке применом Bayesian Regularization алгоритма.
- Табела 6.3. Приказ итеративних резултата обуке применом Scaled Conjugate Gradient Backpropagation алгоритма.
- Табела 6.4. Резултати предикције за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање за Levenberg - Marquardt алгоритам.
- Табела 6.5. Резултати предикције за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање за Bayesian Regularization алгоритам.
- Табела 6.6. Резултати предикције за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање за Scaled Conjugate Gradient Backpropagation алгоритам.
- Табела 6.7. Процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање током обуке, валидације и тестирања за Levenberg - Marquardt алгоритам.
- Табела 6.8. Процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање током обуке, валидације и тестирања за Bayesian Regularization алгоритам.
- Табела 6.9. Процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање током обуке, валидације и тестирања за Scaled Conjugate Gradient Backpropagation алгоритам.

Табела 6.10. Измерене вредности средње аритметичке храпавости и леђног хабања за конфирмационе експерименте.

Табела 6.11. Предиктоване вредности средње аритметичке храпавости и леђног хабања за Levenberg - Marquardt алгоритам за конфирмационе експерименте.

Табела 6.12. Предиктоване вредности средње аритметичке храпавости и леђног хабања за Bayesian Regularization алгоритам за конфирмационе експерименте.

Табела 6.13. Предиктоване вредности средње аритметичке храпавости и леђног хабања за Scaled Conjugate Gradient Backpropagation за конфирмационе експерименте.

Табела 6.14. Процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање за Levenberg - Marquardt алгоритам за конфирмационе експерименте.

Табела 6.15. Процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање за Bayesian Regularization алгоритам за конфирмационе експерименте.

Табела 6.16. Процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање за Scaled Conjugate Gradient Backpropagation алгоритам за конфирмационе експерименте.

Табела 7.1. Параметри оптимизације.

Табела 7.2. Оптималне вредности улазних и излазних параметара за реалне вредности улазних параметара.

Табела 7.3. Оптималне вредности улазних и излазних параметара за теоретске вредности улазних параметара.

Табела 7.4. Компарација оптималних и измерених излазних параметара.

Табела 7.5. Процентуалне и апсолутне грешке измерених излазних параметара.

1. УВОД

Пред савремену производњу постављају се многобројни захтеви, као што су смањење трошкова, повећање продуктивности, повећање квалитета производа, минимизовање негативног утицаја на животну средину, итд. Производни системи теже да израде што квалитетније производе са мањим трошковима, у што краћем времену, са високом производности и флексибилности, мањом потрошњом енергије и слично. Многи фактори утичу на ефективности и излазне карактеристике процеса машинске обраде. За њихову реализацију неопходна су адекватна технолошка опрема и процеси. Све елементе обрадног система треба оптимално решити. То је дуг, често итеративан процес са неизвесним завршетком, посебно ако се узме у обзир стохастика и велики број међусобно противуречних захтева између наведених функција циља.

У машинској индустрији примењују се различите операције обраде. Једна од најчешће коришћених операција је стругање. Примењује се углавном за обраду цилиндричних обрадака. Овим поступком, обрада се може извршити грубо или завршно на финалну меру. Велики број радних предмета се може стругањем обрадити на завршну меру. Циљ процеса завршног стругања је да се избегну или смање операције завршне обраде (брушење, глачање, итд.). Тиме се постижу значајне уштеде времена и трошкова.

Стругањем је могуће обрадити обрадке од различитих материјала. Међутим, проблем се знатно усложњава ако се стругањем обрађују легуре на бази никла. Инконел се убраја у групу тешко обрадивих легура, а нашао је значајну примену у различитим индустријским гранама. То су материјали који имају велику отпорност на топлоту, одличну стабилност, добре могућности обликовања и добру отпорност на корозију. Легуре на бази никла такође имају високу тврдоћу, стога се тешко обрађују резањем. Услед тога, легуре на бази никла се по правилу обрађују стругањем уз примену средства за хлађење и подмазивање (СХП) или уз примену алтернативних стратегија хлађења и подмазивања (минимална употреба течних флуида, минимална употреба чврстих флуида, минимална употреба гасовитих флуида, криогена обрада, итд.).

За одрживу производњу потребно је остварити баланс између захтеваних карактеристика тачности и квалитета, продуктивности производње, али и еколошких захтева који се постављају пред савремене производне системе. Претходни захтеви су веома често једни другима супротстављени. Основни недостатак СХП је то што представљају штетне материје како за радну тако и за животну средину. Велики проблем при употреби СХП јесте њихово сакупљање и третман (пречишћавање, разградња и регенерација). Ту се могу значајно повећати и припадајући трошкови у оквиру укупних трошкова. Надаље, концентрација и састав СХП мењају се током

његове употребе услед испаравања, развоја бактерија, мешања са уљем, присуства чврстих честица (струготина, опилци и честице резних елемената алата), итд. СХП, посебно ако се користи под високим притиском, стварају уљну маглу у радном окружењу, што има негативне последице по здравље оператера. То захтева додатна улагања у системе за прикупљање и одвођење уљне магле из радне средине. Стога трошкови одржавања СХП, уз строго придржавање закона и прописа, повећавају укупну цену.

Последњих година су посебно актуелна истраживања која интегришу класична истраживања машинске обраде са захтевима који се постављају са становишта негативног утицаја процеса стругања на животну и радну средину. На тај начин долази до експанзије истраживања која интегришу ова два аспекта са циљем развоја чистије производње. Посебно актуелна проблематика у претходном периоду је било "скоро суво" стругање. Ова стратегија стругања се базира на минимизацији употребе СХП или на примени алтернативних стратегија које могу заменити СХП. Поштујући начела заштите животне и радне средине, конвенционална СХП, се замењују са новим начелима обраде која се базирају на скоро сувој обради. Предности ових приступа су неоспорне. То је утицало на појаву великог броја истраживања у овој области. Као алтернатива примени класичних течности за хлађење и подмазивање појавила су се истраживања базирана на минималној употреби течних флуида, минималној употреби чврстих СХП, минималној употреби гасовитих СХП, криогеној обради, итд. Заједничка карактеристика ових истраживања јесте проналажење компромиса између две крајности, обраде са и обраде без СХП, пошто се негативани утицаји СХП смањују уз остваривање излазних ефеката блиских онима који се добијају уз обраду стругањем са употребом СХП. Мања количина СХП генерише мања загађења животне и радне средине. С друге стране, еколошки проблеми јесу мањи у односу на обраду са СХП, али они на даље постоје, само у мањој мери и даље постоји одређена количина негативног утицаја на животну и радну средину и даље је потребна додатна опрема, додатни флуид и сл. То у одређеној мери повећава и укупне трошкове.

Сува машинска обрада се може остварити избором адекватних машина алатки, прибора, и резних алата уз истовремено узимање у обзир карактеристика обрадка. Потребно је обезбедити машине алатке високе снаге и тачности, круте приборе који обезбеђују поуздано базирање и сигурно стезање, а пожељно је користити резне алате са превлаком и са адекватном геометријом како би триболошки ефекти били повољнији, односно како би температуре резања и контактни притисци били што мањи. Током суве обраде на месту контакта резног алата са једне стране и струготине и обрадка са друге стране јавља се велико трење, односно јављају се високе температуре и високи контактни притисци. Овакви услови обраде генеришу специфичне појаве у зони обраде што може довести до активирања механизма хабања (абразију, дифузију, оксидацију, итд.) резног алата што опет може имати негативне последице по тачност, квалитет, трошкове, итд. Стога се у условима суве обраде мора посветити посебна пажња избору геометрије резног алата. Сува обрада је

еколошки најприхватљивија, а добијена струготина се најлакше може рециклирати. Надаље, смањују се трошкови производње с обзиром да нема трошкова флуида, трошкова додатне опреме, трошкова у вези са третманом флуида, итд.

Процесни механизам формирања храпавости и хабања алата зависе и од великог броја параметара и веома је тешко развити свеобухватно и општеприхваћено решење проблема. Практично је немогуће обухватити све зависне улазне параметре с обзиром на стохастичку природу већег броја истих. Парцијално решавање проблема је могуће али треба тежити свеобухватнијим и универзалнијим решењима. Храпавост обрађене површине један је од најрелевантнијих параметара у погледу оцењивања квалитета обрађене површине и има велики утицај на перформансе елемената и функционисање подсклопова и склопова током експлоатације. Овај показатељ квалитета представља један од најчешће специфицираних захтева у индустријској производњи. Дobar квалитет површине је једнако важан као и потребна димензиона тачност и геометријске спецификације производа. Храпавост површине углавном зависи од карактеристика материјала радног предмета (механичке, толотне и физичке карактеристике), параметара резног алата, карактеристика прибора, параметара обраде, стабилности обрадног система, итд. Прекомерно хабање резног алата може проузроковати грешке и шкарт, а може повећати и трошкове производње услед потребе за превременом заменом похабаних алата или резних плочица. Мале стопе уклањања материјала (мала продуктивност) могу проузроковати кашњења у производњи, односно непоштовање задатих рокова израде, а такође и повећање трошкова.

Неоспорно је да параметри обраде уз неадекватно изабране резне алате могу да повећају трошкове производње и време обраде. Међутим, савремена производња није доминантно серијска и масовна где је време обраде један од лимитирајућих фактора, већ је углавном појединачна и малосеријска. Стога време обраде, када су у питању мање серије (нормирано на мањој количини обрадака), неће драстично утицати на продужење времена обраде и биће све краће како се буду развијали алатни материјали, превлаке и геометрија резних алата. Са развојем ових елемената биће могуће извршити обраду тешкообрадивих материјала и са вишим параметрима обраде (већим брзинама, помацима и дубинама). Основни недостатак суве обраде јесу лошије карактеристике квалитета обрађене површине и мања постојаност резних алата. Међутим у односу на алтернативне поступке обраде процес стругањем је чистији, а нижи су и поједини трошкови (трошкови куповине флуида, трошкови третмана флуида, трошкови одлагања флуида, итд.). Обрада стругањем без СХП услед великих температура резања може довести до веће потрошње материјала резног елемента алата (интезивирања механизма и процеса хабања) што може имати негативне последице по квалитет обрађеног дела и веће трошкове услед веће потрошње резних алата, потребе за накнадном обрадом и сл. С тога је веома битно одредити улазне параметре са којима је могуће извести потребну операцију обраде,

са становишта машинске обраде и становишта негативног утицаја на животну и радну средину.

Узимајући у обзир динамику процеса стругања веома је тешко успоставити апсолутну контролу над процесом обраде и обрадним системом који се састоји од великог броја елемената. Унапређење постојећих система је могуће са успостављањем неког вида корелације и предикције утицајних величина на излазне перформансе. На основу успостављене зависности и развоја адекватног модела могуће је предвидети излазне параметре процеса стругања у зависности од улазних параметара, а потом спровести оптимизацију како би се добило најбоље решење за задате услове обраде.

2. ПРЕГЛЕД ПОСТОЈЕЋЕГ СТАЊА

Стругање обрадака направљених од инконел легура је истраживано из различитих перспектива и по различитим основама кроз бројне теоријске, симулационе и експерименталне студије [20, 29, 45, 47, 53, 64].

У табели 2.1 су приказане основне карактеристике претходно примењених приступа и развијених методологија.

Реф.	Начин обраде	Материјал обрадка	Метод	Улаз	Израз
[1]	Минимална употреба СХП Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент	Варијације хлађења и подмазивања	Хабање резног алата
[2]	Криогена обрада	Инконел 625	Експеримент Регресиона анализа	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине
[3]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата
[5]	Минимална употреба СХП Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Варијације хлађења и подмазивања	Силе резања Хабање резног алата Тврдоћа обрађене површине
[6]	Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Храпавост обрађене површине
[7]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Силе резања
[8]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Хабање резног алата Силе резања	Интегритет обрађене површине
[10]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине

[9]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи Регресиона анализа	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Хабање резног алата
[11]	Без СХП	Инконел-718	Експеримент Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Силе резања постојаност резног алата Стопа уклањања материјала
[12]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак	Постојаност резног алата Храпавост обрађене површине
[13]	Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Постојаност резног алата Храпавост обрађене површине
[15]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Помак Дубина резања	Механизми хабања резног алата
[16]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак	Механизми хабања резног алата
[19]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод Вишекритеријумско вредновање	Брзина резања Помак Дубина резања Радијус врха	Храпавост обрађене површине Хабање резног алата
[21]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања	Постојаност резног алата Хабање резног алата Силе резања Храпавост обрађене површине

[22]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања	Постојаност резног алата Хабање резног алата Храпавост обрађене површине
[23]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања и ефикасност	Постојаност резног алата Хабање резног алата Механизми хабања резног алата
[24]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Помак Дубина резања Време обраде	Силе резања
[25]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата Силе резања Храпавост обрађене површине
[26]	Без СХП Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Нападни угао	Механизми хабања резног алата Силе резања Интегритет обрађене површине
[27]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања	Хабање резног алата Силе резања
[28]	Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Интегритет обрађене површине Хабање резног алата

[30]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод АНОВА	Резни алат Дубина резања Брзина резања Помак Радна температура Ултразвучна снага	Хабање резног алата
[31]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата Храпавост обрађене површине Температуре резања
[32]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент Регресиона анализа	Брзина резања Помак Пречник млазнице Притисак СХП Растојање од млазнице до обрађене површине	Силе резања Квалитет обрађене површине Температуре резања
[33]	Са СХП	Инконел 718	Метод коначних елемената	Силе резања Притисак СХП	Дебљина струготине Облик струготине Температура резања
[34]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Грудни угао	Хабање резног алата
[35]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Метод коначних елемената	Брзина резања Помак Дубина резања Радијус врха	Силе резања
[36]	Са СХП Минимална употреба СХП	Инконел 800	Експеримент Тагучи метод АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања Врста СХП	Храпавост обрађене површине Стопа уклањања материјала

[38]	Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент Регресиона анализа Вештачке неуронске мреже	Брзина резања Помак Дубина резања Вибрације	Квалитет обрађене површине
[39]	Без СХП	Инконел 600	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Хабање резног алата
[41]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Температура резања	Механизми хабања резног алата
[44]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијација резних плочица	Хабање резног алата Храпавост обрађене површине Силе резања
[46]	Без СХП	Инконел 600	Експеримент Регресиона анализа	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата Храпавост обрађене површине
[48]	Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент Регресиона анализа АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Хабање резног алата Храпавост обрађене површине
[49]	Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент Вештачке неуронске мреже	Брзина резања Помак Дубина резања Време обраде Притисак средства за хлађење и подмазивање	Силе резања Храпавост обрађене површине Хабање резног алата
[50]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Пролазни и слепи канал са бочне стране	Хабање резног алата Постојаност резног алата

[51]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Режими обраде	Храпавости обрађене површине Силе резања Продуктивност
[52]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Регресиона анализа Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Храпавост обрађене површине Хабање резног алата
[55]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак	Силе резања Морфологија струготине Храпавост обрађене површине Хабање резног алата
[56]	Без СХП Минимална употреба СХП Са СХП Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Варијација средства за хлађење и подмазивање	Интегритет обрађене површине
[57]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања	Интегритет обрађене површине Храпавост обрађене површине
[58]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Механизми хабања резног алата
[60]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Радијус врха	Хабање резног алата Силе резања Коефицијент трења

[61]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент АНОВА	Помак Радијус врха Превлака	Хабање резног алата Храпавост обрађене површине
[62]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Хабање резног алата	Вибрације
[63]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата
[65]	Без СХП Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Грудни угао Леђни угао Радијус врха	Постојаност резног алата Брзина уклањања струготине
[67]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Облик струготине Хабање резног алата
[68]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Регресиона анализа АНОВА	Брзина резања Помак	Храпавост обрађене површине Силе резања Хабање резног алата
[69]	Без СХП Са СХП	Инконел 725	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Силе резања
[70]	Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент Метод коначних елемената	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања
[71]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Радијус врха	Храпавост обрађене површине Тврдоћа обрађене површине

[72]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент Вештачке неуронске мреже	Брзина резања Дубина резања	Храпавост обрађене површине Заостали напони у обрађеној површини
[75]	Са СХП	Инконел 625	Експеримент Регресиона анализа АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Стопа укљањања материјала Хабање резног алата
[76]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Тагучи метод	Брзина резања Помак Дубина резања	Стопа укљањања материјала
[77]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Заостали напони
[78]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Тагучи метод	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине
[79]	Без СХП	Инконел X750	Експеримент	Брзина резања Помак	Механизми хабања резног алата
[80]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Превлака	Постојаност резног алата Хабање резног алата
[81]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Температура резања
[82]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод	Брзина резања Помак Облик резног алата Притисак СХП Превлака	Хабање резног алата Постојаност резног алата

[87]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент Метод коначних елемената	Наночестице	Температуре резања
[88]	Без СХП Са СХП Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Варијације средства за хлађење и подмазивање	Хабање резног алата Храпавост обрађене површине Потрошња енергије
[90]	Минимална употреба СХП Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент	Варијације средства за хлађење и подмазивање	Хабање резног алата
[92]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзине резања	Механизми хабања резног алата
[93]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Тагучи метод	Брзина резања Помак Дубина резања	Сила резања Храпавост обрађене површине
[94]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата
[95]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод Метод коначних елемената	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања
[96]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод АНОВА Метод коначних елемената	Брзина резања Помак Дубина резања Притисак СХП	Силе резања Квалитет обрађене површине
[97]	Без СХП Са СХП	Инконел 625	Експеримент Метод коначних елемената	Брзина резања Помак Дубина резања Превлака	Хабање резног алата
[98]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Фази логика	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата Стопа уклањања материјала

[99]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Метод коначних елемената	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата
[100]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Вибрације	Хабање резног алата Храпавост обрађене површине
[101]	Без СХП Минимална употреба СХП Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент	Варијације средства за хлађење и подмазивање	Хабање резног алата Храпавост обрађене површине Силе резања
[102]	Са СХП	Инконел 625	Експеримент	Варијације средства за хлађење и подмазивање	Постојаност резног алата
[103]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијације средства за хлађење и подмазивање	Храпавост обрађене површине Хабање резног алата Снага резања
[104]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод	Брзина резања Помак Варијације средства за хлађење и подмазивање	Храпавост обрађене површине Хабање резног алата
[105]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Регресиона анализа	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине
[40]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања
[107]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Вештачке неуронске мреже	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Храпавост обрађене површине

[108]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент Вештачке неуронске мреже Регресиона анализа Фази логика	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине
[110]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Тагучи метод АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Храповост обрађене површине Брзина укљањања струготине
[111]	Без СХП	Инконел х- 750	Експеримент Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавости обрађене површине
[112]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијације средства за хлађење и подмазивање Брзина струјања средства за хлађење и подмазивање	Храпавост обрађене површине Постојаност резног алата Силе резања
[113]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијације средства за хлађење и подмазивање	Хабање резног алата Постојаност резног алата Силе резања
[114]	Без СХП Минимална употреба СХП Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Хабање резног алата Храпавост обрађене површине
[115]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата
[116]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент Метод коначних елемената	Брзина резања Помак Дубина резања Врста СХП	Силе резања Облик струготине

[118]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент Метод коначних елемената	Варијација граничних услова и коначних елемената	Напони током обраде Заостали напони након обраде
[119]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Вибрације Хабање резног алата Механизми хабања резног алата
[122]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата
[123]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод	Брзина резања Помак Дубина резања Нападни угао	Храпавости обрађене површине
[125]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 825	Експеримент Тагучи метод Вишекритеријумско вредновање	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Температура резања Хабање резног алата Дебљина струготине
[126]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања	Механизми хабања резног алата Механизми формирања струготине
[129]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Врста СХП Брзина резања Помак Дубина резања	Постојаност резног алата
[130]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 625	Метод коначних елемената	Варијација граничних услова и коначних елемената	Силе резања Хабање резног алата Температура резања

[131]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Тагучи метод	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Силе резања Стопа укљањања материјала
[132]	Без СХП	Инконел 718 Инконел 625	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Температура загревања	Силе резања Хабање резног алата Храпавост обрађене површине Постојаност резног алата
[133]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Метод коначних елемената	Брзина резања Температура загревања	Силе резања Морфологија струготине
[134]	Криогена обрада	Инконел 713С	Експеримент Тагучи метод	Варијације резних алата	Сила резања Храпавост обрађене површине
[135]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине
[136]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Механизми формирања струготине Морфологија струготине
[139]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод АНОВА Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања Варијација резног алата	Силе резања Храпавост обрађене површине
[140]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Снага резања Вибрације Хабање резног алата

[141]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Регресиона анализа	Брзина резања Помак Дубина резања	Квалитет обрађене површине
[142]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Време обраде Тврдоћа обрадка	Хабање резног алата Температура резања
[143]	Без СХП	Инконел 800	Експеримент Тагучи метод Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Хабање резног алата Температуре резања
[144]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод Метод коначних елемената	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата
[145]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод Метод коначних елемената	Брзина резања Помак Дубина резања	Температура резања
[146]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине
[147]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Стопа укљањања материјала
[138]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Тагучи метод АНОВА Фази логика	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Снага резања Стопа укљањања материјала

[148]	Без СХП Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијације средстава за хлађење и подмазивање	Силе резања Квалитет обрађене површине Хабање резног алата
[149]	Са СХП	Инконел 718	Метод коначних елемената	Варијација микроструктуре	Тврдоћа Заостали напони
[150]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата Силе резања
[151]	Без СХП	Инконел 825	Експеримент Вештачке неуронске мреже	Брзина резања Помак Дубина резања Превлака	Храпавост обрађене површине Силе резања Температуре резања
[152]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 825	Експеримент АНОВА	Брзина резања Помак Притисак средства за хлађење и подмазивање	Интегритет обрађене површине Хабање резног алата
[153]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Сила резања Хабање резног алата Храпавости обрађене површине
[154]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања	Стопа укљањања материјала Храпавост обрађене површине
[155]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент АНОВА Вештачке неуронске мреже	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата Храпавост обрађене површине
[156]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијација резних алата Превлака	Интегритет обрађене површине

[157]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијације резних алата Превлака	Хабање резног алата
[159]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијације резних алата Брзина резања	Хабање резног алата Механизми формирања струготине
[160]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Притисак СХП Правац СХП	Интегритет обрађене површине Постојаност резног алата
[161]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијације резних алата Превлака	Храпавост обрађене површине Температуре резања Силе резања
[163]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијације резних алата	Храпавост обрађене површине Хабање резних алата Температуре резања
[162]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент Вишекритеријумско вредновање	Брзина резања Помак Дубина резања Варијације средства за хлађење и подмазивање	Храпавост обрађене површине Трошкови обrade Снага резања Постојаност резног алата
[164]	Без СХП Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијације средства за хлађење и подмазивање	Хабање резног алата Храпавост обрађене површине Вибрације

[165]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент Регресиона анализа	Брзина резања Помак Дубина резања	Интегритет обрађене површине Хабање резног алата Морфологија стругорине
[166]	Минимална употреба СХП	Инконел 600	Експеримент Тагучи метод АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Вибрације
[167]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак	Механизми хабања резног алата
[168]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Превлака	Интегритет обрађене површине
[169]	Са СХП	Инконел 625	Експеримент	Варијације средства за хлађење и подмазивање	Хабање резног алата
[170]	Минимална употреба СХП	Инконел 750	Експеримент	Варијације средства за хлађење и подмазивање	Хабање резног алата Стопа укљањања материјала
[171]	Са СХП Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања Радијус врха	Димензије обрађене површине Заостали напони Храпавост обрађене површине Стопа укљањања материјала
[172]	Без СХП	Инконел 825	Експеримент АНОВА Тагучи метод	Брзина резања Помак Дубина резања Превлака	Храпавост обрађене површине Хабање резног алата Силе резања

[173]	Минимална употреба СХП	Инконел 825	Експеримент Регресиона анализа Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Хабање резног алата Температуре резања
[174]	Са СХП	Инконел 783	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Храпавост обрађене површине Температуре резања
[175]	Са СХП Минимална употреба СХП	Инконел X-750	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Храпавост обрађене површине
[176]	Са СХП Минимална употреба СХП	Инконел 740	Експеримент	Варијације средства за хлађење и подмазивање	Силе резања Храпавост обрађење површине Температуре резања
[158]	Минимална употреба СХП Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент	Варијације средства за хлађење и подмазивање	Постојаност резног алата Квалитет обрађене површине Трошкови обраде
[177]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Регресиона анализа АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања Радијус врха	Храпавост обрађене површине Стопа укљањања материјала
[178]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Регресиона анализа Вештачке неуронске мреже	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Силе резања

[179]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања Радијус врха	Храпавост обрађене површине Стопа укљањања материјала
[180]	Без СХП	Инконел 825	Експеримент	Брзина резања Време резања Превлака	Силе резања Коефицијент трења Морфологија струготине Хабање резног алата
[181]	Без СХП	Инконел 825	Експеримент	Брзине резања Превлака	Морфологија струготине Хабање резног алата Интегритет обрађене површине
[182]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод Регресиона анализа АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања
[183]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Тврдоћа обрађене површине
[184]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Температуре резања Постојаност резног алата
[186]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод Регресиона анализа АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Температуре резања Постојаност резног алата

[185]	Криогена обрада	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Врста СХП	Тврдоћа обрађене површине Силе резања Храпавост обрађене површине Хабање резног алата
[187]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак	Силе резања Храпавост обрађене површине Хабање резног алата
[188]	Без СХП Са СХП	Инконел 718	Експеримент АНОВА Регресиона анализа	Брзина резања Помак Количина СХП Притисак СХП Правац СХП	Силе резања Температуре резања Хабање резног алата
[189]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Храпавост обрађене површине Температуре резања
[190]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Температуре резања Хабање резног алата
[191]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Тагучи метод Вишекритеријумско вредновање Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата
[192]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Интегритет обрађене површине
[193]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Силе резања Хабање резног алата	Пластичне деформације

[194]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Димензије обрадка Облик обрадка	Заостали напони Еластична деформација
[195]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Метод коначних елемената	Брзина резања	Хабање резног алата
[196]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Храпавост обрађене површине
[197]	Без СХП	Инконел 600	Експеримент АНОВА Регресиона анализа	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине
[199]	Са СХП	Инконел X-750	Експеримент	Брзина резања помак Концентрација нано флуида	Храпавост обрађене површине Хабање резног алата
[198]	Минимална употреба СХП	Инконел X-750	Експеримент Вишекритеријумско вредновање	Брзина резања Помак Угао млазнице Растојање млазнице	Храпавост обрађене површине Заостали напони Силе резања
[200]	Без СХП	Инконел X-750	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Хабање резног алата
[201]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Храпавост обрађене површине
[202]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Метод коначних елемената Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања

[203]	Без СХП	Инконел 601	Експеримент Оцењивање животног циклуса Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања Радијус врха	Храпавост обрађене површине Хабање резног алата Потрошња енергије Време обраде
[204]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Тагучи метод АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Храпавост обрађене површине
[205]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Ултразвучна амплитуда	Силе резања Температуре резања
[206]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Заостали напони
[207]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Ултразвучна амплитуда	Храпавост обрађене површине Облик струготине
[208]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијације резних алата	Механизми хабања резног алата
[209]	Са СХП	Инконел 625	Експеримент	Варијација средства за хлађење и подмазивање	Постојаност резног алата Храпавост обрађене површине Силе резања Температуре резања
[210]	Без СХП	Инконел X-750	Експеримент	Брзина резања Помак	Силе резања Хабање резног алата Храпавост обрађене површине

[211]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Услови обраде	Хабање резног алата
[212]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Услови обраде	Интегритет површине
[213]	Минимална употреба СХП Криогена обрада	Инконел 625	Експеримент	Варијација средства за хлађење и подмазивање	Хабање резног алата Храпавост обрађене површине Температуре резања
[214]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 625	Експеримент	Варијација средства за хлађење и подмазивање	Постојаност резног алата Храпавост обрађене површине Температуре резања
[215]	Са СХП	Инконел 625	Експеримент Метод коначних елемената	Брзина резања	Постојаност резног алата Храпавост обрађене површине Хабање резног алата
[216]	Без СХП Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијација средства за хлађење и подмазивање	Постојаност резног алата Брзина укљањања струготине
[217]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Метод коначних елемената	Ефикасност ломача струготине	Облик струготине и силе резања
[218]	Без СХП Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијација средства за хлађење и подмазивање	Хабање резног алата
[220]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Превлака	Интегритет обрађене површине Хабање резног алата

[219]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Превлака	Температура резања Хабање резног алата
[221]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Превлака	Механизми хабања резног алата Микроструктура струготине
[223]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Превлака	Храпавост обрађене површине
[224]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Варијације средства за хлађење и подмазивање	Интегритет површине
[225]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент Регресиона анализа	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања
[226]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Механизми хабања резног алата
[227]	Са СХП	Инконел 718	Експеримент Метод коначних елемената	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Температуре резања Хабање резног алата
[228]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Дужина микро жљебова Ширина микро жљебова Дубина микро жљебова	Механизми хабања резног алата Силе резања Температура резања
[229]	Без СХП	Инконел 601	Експеримент Оцењивање животног циклуса Вишекритеријумска оптимизација	Брзина резања Помак Дубина резања Радијус врха	Храпавост обрађене површине Хабање резног алата Потрошња енергије Време обраде

[230]	Без СХП	Инконел 625	Експеримент Тагучи метод АНОВА	Брзина резања Помак Дубина резања	Силе резања Храпавост обрађене површине
[231]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Ултразвучна амплитуда	Силе резања Температуре резања
[232]	Минимална употреба СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања	Храпавост обрађене површине Заостали напони
[234]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Брзина резања Помак Дубина резања Ултразвучна амплитуда	Храпавост обрађене површине Облик струготине
[235]	Без СХП	Инконел 718	Експеримент	Варијације резних алата	Механизми хабања резног алата

Табела 2.1. Основне карактеристике примењених приступа и развијених методологија.

За анализу и изучавање процеса стругања развијане су различите методологије. Најбројнија су експериментална истраживања. У већини ових истраживања, разматрати су утицаји режима резања (брзине резања, помака и дубине) на излазне карактеристике процеса стругања. Нека од истраживања су узимала у обзир и геометрију резног алата, потрошњу енергије, стопу уклањања материјала, ефекте СХП и сл. Најчешће излазне карактеристике процеса које су проучаване су биле храпавост обрађене површине, постојаност резног алата, време обраде, итд. Мана експерименталних истраживања, посебно у условима великог броја експеримената, јесте што су скупа и дуготрајна. Надаље, велики недостатак ових истраживања јесте што се добијени резултати могу применити само за услове у којима су спроведени експерименти.

Као одговор на претходни недостатак, јављају се истраживања у којима су развијани одговарајући модели. Моделовање односа између улазно-излазних параметара обухвата корелацију узрока и последица. Предвиђени модел успоставља зависност која повезује улазне и излазне параметре.

Теоријско моделирање је засновано на физици процеса и физичким феноменима. Основна потешкоћа развоја ових методологија јесте потреба за

дубинским познавањем процеса које није увек могуће с обзиром на ограничену доступност информација и стохастичку процеса.

Алтернативно моделирање јесте емпиријско моделирање. Методе емпиријског моделирања су базиране на експерименталним подацима, тј. на успостављању функционалне зависности између улазних и излазних параметара процеса.

За моделирање процеса стругања најчешће су употребљаване технике емпиријског моделирања као што су Тагучи метод, неуронске мреже, фази логика, регресионо моделирање и машине базиране на потпорним векторима. Као улазни параметри најчешће су разматрани параметри обраде (брзина, помак, дубина), а као излазни храпавост површине, хабање алата, тачност димензија, итд. Ове методе меког рачунарства, за разлику од конвенционалног рачунарства, су толерантне на непрецизност, неизвесност и апроксимацију. Основни проблеми које треба решити су: економично и ефикасно прикупљање података, филтрирање шумних података и дефинисање статистичких карактеристика података. Од виталног је значаја да грешке које се јављају између предиктовних и експерименталних вредности буду у прихватљивим границама како би се модел предикције могао применити. На послетку, успостављени односи треба да конвергирају како се њихова тачност побољшава, што резултира релацијом која узима у обзир све променљиве. Очигледно је да методе предвиђања захтевају значајне ресурсе за развој адекватних односа у моделу. Уколико се правилно моделира процес стругања и остваре прихватљиве грешке предикције смањују се трошкови и време експерименталних истраживања уз истовремено смањење субјективног утицаја технолога на добијене резултате. Такође, већа је универзалност, а самим тим и могућност практичне примене будући да се модели могу применити у распону улазних варијабли, а не само на експерименталне податке. Основни проблем јесте коју методу и када применити с обзиром да свака од њих има своје предности, али и недостатке. Без обзира на неке смернице које постоје, још увек је немогуће дефинисати алгоритам по коме ће се вршити избор адекватне методе моделовања за конкретне производне услове. Додатно, развој предиктивних модела је основа за оптимизацију процеса по различитим основама. За оптимизацију процеса стругања најчешће су употребљаване методе и технике вештачке интелигенције, као што су генетски алгоритми (енгл. *Genetic Algorithm*) и алгоритам роја честица (енгл. *Particle swarm optimization*). Ове методе имају предности и недостатке у поређењу једна са другом. Стога је суштинско питање изабрати адекватну методу и формулисати довољно тачан модел који ће представљати довољно тачну апроксимацију процеса стругања. Оптималне комбинације параметара обраде и геометријских и технолошких карактеристика резног алата зависе од много фактора с обзиром да процес стругања карактерише мноштво динамичких променљивих. За различите услове обраде и различите захтеве производње оптимални параметри су различити. Појединачно гледано, улазни параметри проузрокују позитивне али и негативне ефекте на различите излазе из процеса. При томе је ниво позитивног и негативног ефекта различит. С обзиром на различите и

често конфликтне захтеве неопходно је спровести вишекритеријумску оптимизацију како би се дошло до компромисног решења за задате услове производње.

3. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА И НАУЧНЕ ХИПОТЕЗЕ

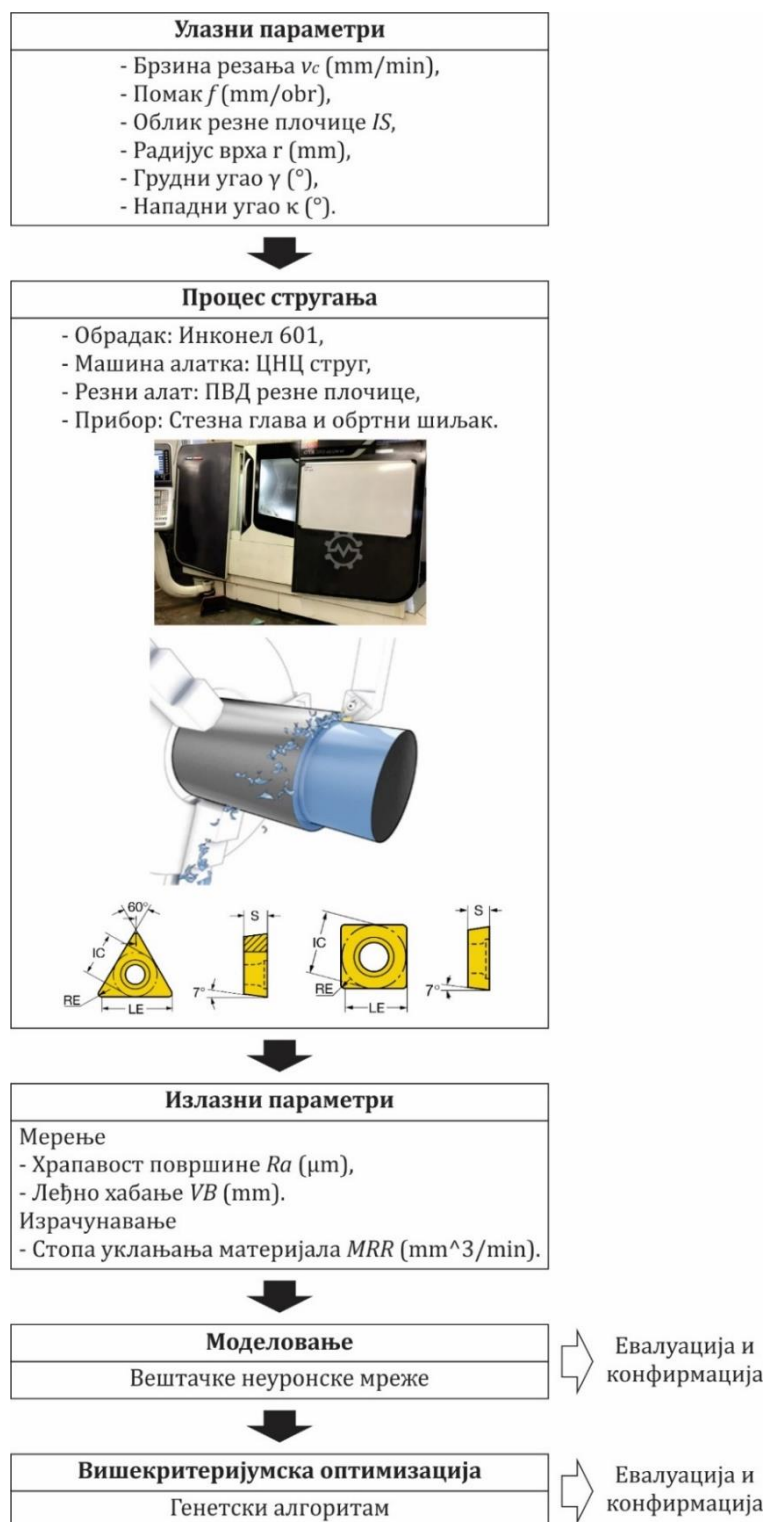
За разлику од претходних, циљ овог истраживања јесте да се евалуира утицај шест улазних параметра процеса стругања легуре инконел, који до сада нису интегрално изучавани у литератури, те да се генерише модел предикције и оптимизације храпавости обрађене површине, хабања резног алата и стопе уклањања материјала. Улазни параметри који ће бити разматрани су: помак f (mm/obr), брзина резања v_c (mm/min), облик резне плочице IS , радијус врха резне плочице r (mm), грудни угао γ (°) и напади угао κ (°). Излазни параметри који ће бити разматрани су средња аритметичка храпавост обрађене површине Ra (mm), леђно хабање резне плочице VB (mm) и стопа уклањања материјала MRR (mm³/min). Такође, циљ је генерисати оптималне комбинације улазних параметара за различите захтеве излазних параметара. То фактички значи да се за различит ниво значајности квалитета површине, постојаности алата и производности добију различите комбинације улазних параметара процеса. Будући да је сува обрада најмање штетна по животну и радну средину, експериментална истраживања је погодно вршити у овим условима. Истраживања овог типа су мотивисана чињеницом да постоји велики напредак у развоју алатних материјала, превлака и геометрије резних плочица, те да се сваким даном захтеви заштите животне средине поштравају, а да је у већини земаља то сада законска обавеза.

На основу анализе претходних истраживања, дефинисаног проблема истраживања и циљева истраживања, дефинисане су следеће научне хипотезе:

- постоји међусобна функционална зависност између перформанси резних плочица и параметара обраде, са једне стране, и постојаности алата, квалитета обрађене површине и стопе уклањања материјала након операције обраде стругањем, са друге стране;
- могуће је извршити моделирање хабања алата и квалитета обрађене површине у зависности од перформанси резних плочица и параметара обраде;
- могуће је извршити оптимизацију процеса обраде стругањем, са становишта интегралног утицаја на квалитет обрађене површине, хабања алата и стопе уклањања материјала, по различитим основама, са адекватним избором перформанси резних плочица и параметара обраде.

4. МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

Методологија по којој је спроведено истраживање приказана је на слици 4.1.



Слика 4.1. Методологија истраживања [84].

Истраживање је спроведено на обрадцима димензија $\varnothing 40 \times 400$ mm од легуре инконел 601 чији је хемијски састав приказан у табели 4.1 а основне механичке, физичке и термичке карактеристике у табели 4.2.

Елемент	Проценат
Никл	58–63
Хром	21–25
Алуминијум	1–1,70
Манган	≤ 1
Силицијум	$\leq 0,50$
Угљеник	$\leq 0,10$
Сумпор	$\leq 0,015$
Гвожђе	ostatak

Табела 4.1. Хемијски састав легуре инконел 601.

Карактеристика	Вредност
Густина	8,11 g/cm ³
Тачка топљења	1349 °C
Затезна чврстоћа	760 MPa
Граница течења	450 MPa
Тврдоћа	160 HB
Коефицијент термичког ширења	13,75 mm/m°C
Топлотна проводљивост	11,2 V/mK

Табела 4.2. Механичке, физичке и термичке карактеристике легуре инконел 601.

Операција стругања је спроведена на CNC стругу *Mori Seiki CTKS 310 Ecoline*, кога карактерише одлична крутост, те висока тачност и прецизност.

Базирање и стезање обрадака је извршено помоћу стезне главе и обртног шиљка, чиме се постиже минимална попустљивост и максимална крутост између обрадка и прибора.

У експерименталним истраживањима су употребљене измењиве механички причвршћене резне плочице чије су карактеристике приказане у табели 4.3.

Експериментална истраживања су спроведена према пуном факторском плану експеримента. Током експерименталних истраживања варирано је шест улазних параметара и то:

- брзина резања (v_c);
- помак (f);
- облик резне плочице (IS);
- радијус врха (r);
- груди угао (γ);
- нападни угао (κ).

На основу материјала обрадка (инконел 601), типског захвата (спољашње уздужно стругање) и услова обраде (стабилна обрада), а у складу са препорукама произвођача механички причвршћених резних плочица, изабрани су следећи улазни параметри:

- два нивоа брзине резања $v_c = 40 / 60$ (mm/min);
- два нивоа помака $f = 0,15 / 0,25$ (mm/obr);
- два нивоа облика резне плочице $IS =$ троугаона (Т) / квадратна (S);
- три нивоа радијуса врха $r = 0,4 / 0,8 / 1,2$ (mm);
- три нивоа грудног угла $\gamma = 3 / 6 / 9$ (°);
- три нивоа нападног угла $\kappa = 60 / 75 / 90$ (°).

Карактеристика	Резна плочица	
Облик	Квадратна	Троугаона
Број резних ивица	4	3
Пречник уписане кружнице (mm)	12,7	9,525
Пречник отвора за стезање (mm)	5,5	4,4
Радијус врха (mm)	0,4; 0,8; 1,2	0,4; 0,8; 1,2
Леђни угао (°)	7	7
Ефективна дужина резне ивице (mm)	11,9	16,098
Дебљина резне плочице (mm)	4,762	3,969
Начин ослојавања	ПВД	ПВД
Тип превлаке	TiAlN+TiAlN (55%Ti, 40%Al, 5%N)	TiAlN+TiAlN (55%Ti, 40%Al, 5%N)
Дебљина превлаке (μm)	3	3
Основни материјал	HS	HS

Табела 4.3. Карактеристике механички причвршћених резних плочица употребљених у експерименталним истраживањима [84].

Дубина резања (a_p), усвојена на основу препорука произвођача резних плочица, током истраживања је била константна и износила је 1,5 mm.

Након експерименталних истраживања мерена је средња аритметичка храпавост површине (Ra) и леђно хабање (VB), док се стопа уклањања материјала (MRR) рачуна као:

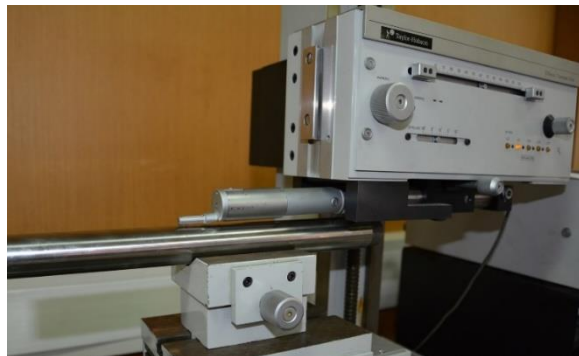
$$MRR_i = v_{ci} \cdot f_i \cdot a_p \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

где је: v_{ci} брзина резања за i -ти експеримент а f_i помак за i -ти експеримент.

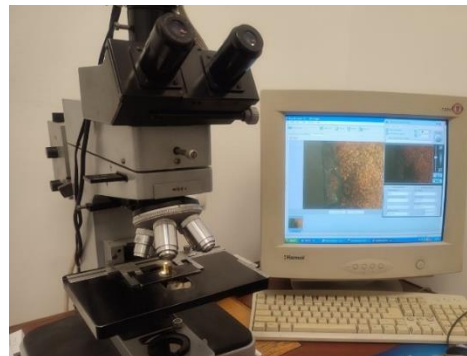
Мерење храпавости површине спроводи се на *Talisurf* мерном уређају, слика 4.2.а, са врхом од 2 μm. Параметар Ra је евалуиран у оквиру дужине вредновања која се састоји од пет референтних дужина. Референтна дужина одговара граничној таласној дужини профилног филтера. Употребљен је Гаусов филтер. Мерење је спроведено са референтном дужином од 0,8 mm на дужини вредновања од 4 mm.

Мерења су вршена у четири правца дуж изводница обрадка (у правцу помака). Вредности храпавости површине израчунате су као средње аритметичке вредности.

Мерење леђног хабања врши се на светлосном микроскопу – *LEITZ Orthoplan*, слика 4.2.б, са увећањем од 50× коришћењем софтверског пакета *ImageJ*.



(а)



(б)

Слика 4.2. Процес мерења.

(а) средња аритметичка храпавост површине, (б) леђно хабање [84].

Након извршених мерења и прорачуна, врши се моделирање и оптимизација процеса стругања легуре Инконел 601. Моделирање процеса је извршено коришћењем вештачких неуронских мрежа, док је оптимизација процеса извршена коришћењем генетског алгорита. Перформансе моделирања и оптимизације се евалуирају преко додатних конфирмационих експеримената и израчунавањем:

- процентуалне грешке:

$$PE_x = \frac{|x_{ipv} - x_{imv}|}{x_{imv}} \cdot 100\% \quad i = 1, 2, \dots, n \quad x = Ra, VB \quad (4.2)$$

- апсолутне грешке:

$$AE_x = |x_{ipv} - x_{imv}| \quad i = 1, 2, \dots, n \quad x = Ra, VB \quad (4.3)$$

- средње аритметичке средине процентуалне грешке:

$$MPE_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_{ipv} - x_{imv}|}{x_{imv}} \cdot 100\% \quad i = 1, 2, \dots, n \quad x = Ra, VB \quad (4.4)$$

- средње аритметичке средине апсолутне грешке:

$$MAE_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_{ipv} - x_{imv}| \quad i = 1, 2, \dots, n \quad x = Ra, VB \quad (4.5)$$

где је: x_{ipv} - предиктована вредност за i -ти експеримент, x_{imv} - измерена вредности за i -ти експеримент, а n укупан број експеримената.

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА

5.1. Резултати експерименталних истраживања

Експериментална истраживања спроведена су у складу са пуним факторским експериментом (енгл. *Run Order*). Укупно је извршено 216 експеримената. За различите комбинације улазних параметара, резултати мерења и израчунавања излазних параметара су приказани у табели 5.1.

Р. бр.	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	MRR (mm ³ /min)	Ra (μ m)	VB (mm)
1	0,15	60	T	1,2	3	90	13,5	1,230	0,257
2	0,25	40	T	0,4	9	75	15	4,646	0,247
3	0,25	60	T	0,8	3	60	22,5	3,680	0,279
4	0,25	60	T	1,2	6	75	22,5	2,541	0,277
5	0,15	40	T	0,8	6	60	9	1,832	0,184
6	0,15	40	S	1,2	6	90	9	0,930	0,149
7	0,15	40	T	0,8	9	90	9	2,133	0,214
8	0,15	40	T	0,8	3	60	9	2,176	0,175
9	0,25	60	S	0,8	3	60	22,5	3,508	0,246
10	0,25	40	S	0,8	9	90	15	3,680	0,201
11	0,15	40	S	1,2	3	60	9	1,145	0,119
12	0,15	60	T	0,4	9	75	13,5	2,713	0,311
13	0,25	60	T	0,8	3	90	22,5	3,809	0,299
14	0,25	60	S	1,2	6	75	22,5	2,369	0,243
15	0,15	40	S	1,2	6	75	9	0,865	0,139
16	0,15	40	T	0,4	6	90	9	2,820	0,227
17	0,25	40	S	0,4	6	90	15	4,367	0,213
18	0,25	40	S	0,4	3	75	15	4,646	0,193
19	0,25	40	T	1,2	6	75	15	2,756	0,192
20	0,25	60	S	0,4	9	60	22,5	4,195	0,288
21	0,15	60	T	1,2	9	75	13,5	0,994	0,267
22	0,25	60	S	0,4	9	75	22,5	4,260	0,298
23	0,25	40	T	0,4	6	75	15	4,475	0,237
24	0,25	60	T	0,4	9	90	22,5	4,496	0,341
25	0,25	60	T	1,2	9	90	22,5	2,777	0,297
26	0,15	60	T	0,4	3	75	13,5	2,885	0,291
27	0,25	60	T	0,8	6	90	22,5	3,465	0,309
28	0,15	40	S	1,2	9	90	9	1,102	0,159

29	0,15	60	S	0,8	9	90	13,5	1,746	0,266
30	0,25	40	S	0,8	9	60	15	3,551	0,181
31	0,15	40	S	1,2	3	75	9	1,209	0,129
32	0,15	60	S	0,4	3	75	13,5	2,713	0,258
33	0,25	60	S	0,8	9	90	22,5	3,465	0,286
34	0,25	40	S	1,2	9	75	15	2,756	0,169
35	0,25	60	S	1,2	6	60	22,5	2,305	0,233
36	0,25	40	S	0,4	3	90	15	4,711	0,203
37	0,25	60	S	0,8	6	90	22,5	3,293	0,276
38	0,25	60	T	0,8	6	75	22,5	3,400	0,299
39	0,15	60	S	0,4	3	90	13,5	2,777	0,268
40	0,25	40	T	1,2	3	75	15	3,100	0,182
41	0,25	40	T	0,8	9	75	15	3,787	0,224
42	0,15	40	T	0,8	6	75	9	1,896	0,194
43	0,15	40	S	0,4	6	60	9	2,520	0,173
44	0,25	40	T	1,2	9	60	15	2,863	0,192
45	0,25	40	T	0,8	6	60	15	3,551	0,204
46	0,25	60	T	1,2	3	90	22,5	2,949	0,277
47	0,25	60	S	0,8	6	75	22,5	3,229	0,266
48	0,25	60	S	0,8	9	75	22,5	3,400	0,276
49	0,15	40	T	0,8	3	75	9	2,240	0,184
50	0,15	60	S	1,2	9	90	13,5	0,887	0,243
51	0,15	40	T	1,2	6	90	9	1,102	0,182
52	0,15	60	S	1,2	9	60	13,5	0,758	0,223
53	0,25	40	S	0,4	6	75	15	4,303	0,203
54	0,25	40	T	1,2	3	60	15	3,035	0,172
55	0,15	60	T	0,4	3	90	13,5	2,949	0,301
56	0,15	60	T	0,4	9	60	13,5	2,648	0,301
57	0,25	60	T	0,4	6	90	22,5	4,324	0,331
58	0,15	60	T	0,4	6	75	13,5	2,541	0,301
59	0,25	60	S	0,4	6	60	22,5	4,023	0,278
60	0,25	40	T	0,4	6	90	15	4,539	0,247
61	0,25	60	T	0,4	9	75	22,5	4,432	0,331
62	0,15	60	T	0,8	3	75	13,5	2,025	0,269
63	0,15	40	T	0,8	6	90	9	1,961	0,204
64	0,15	40	S	0,8	3	60	9	2,004	0,141
65	0,15	40	T	0,4	9	75	9	2,928	0,227
66	0,25	60	S	1,2	9	75	22,5	2,541	0,253
67	0,15	40	T	0,8	3	90	9	2,305	0,194
68	0,15	40	S	0,8	6	60	9	1,660	0,151

69	0,25	40	T	0,8	6	75	15	3,615	0,214
70	0,25	60	T	0,4	3	75	22,5	4,604	0,311
71	0,25	40	S	0,8	9	75	15	3,615	0,191
72	0,25	40	S	0,4	9	60	15	4,410	0,203
73	0,25	40	S	0,4	6	60	15	4,238	0,193
74	0,15	60	T	1,2	9	90	13,5	1,059	0,277
75	0,25	40	T	0,8	3	60	15	3,895	0,194
76	0,25	40	S	0,8	6	60	15	3,379	0,171
77	0,15	40	S	0,8	3	75	9	2,068	0,151
78	0,15	40	T	0,4	6	75	9	2,756	0,217
79	0,25	60	T	1,2	9	75	22,5	2,713	0,287
80	0,15	40	S	0,4	3	75	9	2,928	0,173
81	0,15	40	T	0,4	6	60	9	2,691	0,207
82	0,15	60	T	1,2	3	75	13,5	1,166	0,247
83	0,25	40	S	0,4	3	60	15	4,582	0,183
84	0,25	40	T	0,4	3	60	15	4,754	0,217
85	0,15	60	S	0,8	3	75	13,5	1,854	0,236
86	0,25	60	T	1,2	6	60	22,5	2,477	0,267
87	0,15	60	S	0,4	9	60	13,5	2,477	0,268
88	0,15	60	S	0,8	6	90	13,5	1,574	0,256
89	0,15	40	T	0,4	9	60	9	2,863	0,217
90	0,25	40	T	0,4	3	90	15	4,883	0,237
91	0,15	60	S	1,2	3	90	13,5	1,059	0,223
92	0,25	40	T	1,2	3	90	15	3,164	0,192
93	0,15	40	S	1,2	6	60	9	0,801	0,129
94	0,15	40	T	1,2	3	75	9	1,381	0,162
95	0,25	40	T	1,2	6	60	15	2,691	0,182
96	0,25	40	T	0,8	6	90	15	3,680	0,224
97	0,15	60	T	0,8	9	90	13,5	1,918	0,299
98	0,25	60	T	1,2	6	90	22,5	2,605	0,287
99	0,25	40	S	0,8	3	60	15	3,723	0,161
100	0,15	60	S	1,2	6	90	13,5	0,715	0,233
101	0,15	60	T	0,8	6	60	13,5	1,617	0,269
102	0,25	60	S	1,2	3	75	22,5	2,713	0,233
103	0,15	40	T	0,8	9	75	9	2,068	0,204
104	0,15	40	S	0,8	6	90	9	1,789	0,171
105	0,25	60	T	0,8	9	60	22,5	3,508	0,299
106	0,25	40	T	0,4	9	90	15	4,711	0,257
107	0,15	60	T	1,2	9	60	13,5	0,930	0,257
108	0,15	40	T	1,2	9	60	9	1,145	0,172

109	0,15	40	T	0,4	9	90	9	2,992	0,237
110	0,15	40	T	1,2	6	60	9	0,973	0,162
111	0,25	40	T	0,4	6	60	15	4,410	0,227
112	0,15	40	T	1,2	6	75	9	1,037	0,172
113	0,25	40	T	0,8	3	75	15	3,959	0,204
114	0,25	40	S	1,2	6	60	15	2,520	0,149
115	0,25	60	S	0,4	3	75	22,5	4,432	0,278
116	0,25	60	S	0,4	6	90	22,5	4,152	0,298
117	0,25	60	S	0,8	9	60	22,5	3,336	0,266
118	0,25	40	S	0,4	9	90	15	4,539	0,223
119	0,15	40	S	0,4	9	60	9	2,691	0,183
120	0,15	60	S	1,2	3	75	13,5	0,994	0,213
121	0,15	60	T	0,4	6	90	13,5	2,605	0,311
122	0,25	40	T	1,2	9	90	15	2,992	0,212
123	0,15	60	S	0,8	9	75	13,5	1,682	0,256
124	0,25	40	T	1,2	9	75	15	2,928	0,202
125	0,15	60	S	0,4	6	75	13,5	2,369	0,268
126	0,25	60	T	0,8	6	60	22,5	3,336	0,289
127	0,25	40	S	1,2	6	90	15	2,648	0,169
128	0,25	60	T	0,4	3	90	22,5	4,668	0,321
129	0,25	60	S	1,2	6	90	22,5	2,434	0,253
130	0,15	40	S	1,2	9	60	9	0,973	0,139
131	0,15	40	S	0,4	6	90	9	2,648	0,193
132	0,25	40	S	1,2	3	90	15	2,992	0,159
133	0,25	40	T	0,4	3	75	15	4,818	0,227
134	0,15	40	T	0,4	3	60	9	3,035	0,197
135	0,15	40	T	1,2	9	75	9	1,209	0,182
136	0,25	40	S	0,8	3	75	15	3,787	0,171
137	0,25	60	T	0,4	6	75	22,5	4,260	0,321
138	0,25	40	T	0,8	9	90	15	3,852	0,234
139	0,15	60	T	1,2	6	75	13,5	0,822	0,257
140	0,15	40	S	0,4	3	90	9	2,992	0,183
141	0,25	60	T	0,8	3	75	22,5	3,744	0,289
142	0,25	60	T	1,2	3	60	22,5	2,820	0,257
143	0,15	60	S	0,8	6	60	13,5	1,445	0,236
144	0,25	60	S	0,4	6	75	22,5	4,088	0,288
145	0,15	40	S	0,4	9	90	9	2,820	0,203
146	0,15	40	T	1,2	3	60	9	1,316	0,152
147	0,15	40	S	0,4	9	75	9	2,756	0,193
148	0,15	40	S	0,4	6	75	9	2,584	0,183

149	0,15	40	S	0,4	3	60	9	2,863	0,163
150	0,25	60	T	1,2	9	60	22,5	2,648	0,277
151	0,25	60	S	1,2	9	90	22,5	2,605	0,263
152	0,15	40	T	1,2	3	90	9	1,445	0,172
153	0,15	60	T	1,2	3	60	13,5	1,102	0,237
154	0,15	60	T	1,2	6	60	13,5	0,758	0,247
155	0,25	60	S	1,2	3	60	22,5	2,648	0,223
156	0,25	60	S	0,8	3	75	22,5	3,572	0,256
157	0,25	40	S	0,4	9	75	15	4,475	0,213
158	0,25	60	S	0,4	9	90	22,5	4,324	0,308
159	0,15	40	S	1,2	9	75	9	1,037	0,149
160	0,25	40	S	0,8	3	90	15	3,852	0,181
161	0,25	60	T	0,8	9	75	22,5	3,572	0,309
162	0,25	40	S	1,2	3	75	15	2,928	0,149
163	0,15	40	T	1,2	9	90	9	1,273	0,192
164	0,25	40	T	0,4	9	60	15	4,582	0,237
165	0,15	40	S	0,8	6	75	9	1,725	0,161
166	0,25	40	S	1,2	3	60	15	2,863	0,139
167	0,25	60	T	0,4	6	60	22,5	4,195	0,311
168	0,25	60	S	0,4	3	60	22,5	4,367	0,268
169	0,15	60	S	0,8	3	60	13,5	1,789	0,226
170	0,25	60	S	0,4	3	90	22,5	4,496	0,288
171	0,15	60	T	0,4	9	90	13,5	2,777	0,321
172	0,15	60	S	0,8	6	75	13,5	1,510	0,246
173	0,25	60	S	0,8	3	90	22,5	3,637	0,266
174	0,15	60	T	0,8	6	90	13,5	1,746	0,289
175	0,15	60	T	0,8	3	60	13,5	1,961	0,259
176	0,15	40	T	0,4	3	75	9	3,100	0,207
177	0,15	60	S	0,4	3	60	13,5	2,648	0,248
178	0,15	40	S	0,8	3	90	9	2,133	0,161
179	0,25	40	S	1,2	6	75	15	2,584	0,159
180	0,25	40	T	1,2	6	90	15	2,820	0,202
181	0,15	60	S	1,2	6	75	13,5	0,650	0,223
182	0,15	60	S	0,4	9	75	13,5	2,541	0,278
183	0,25	60	T	0,4	9	60	22,5	4,367	0,321
184	0,15	60	S	0,8	9	60	13,5	1,617	0,246
185	0,25	60	S	0,8	6	60	22,5	3,164	0,256
186	0,15	40	T	0,4	3	90	9	3,164	0,217
187	0,25	60	T	1,2	3	75	22,5	2,885	0,267
188	0,15	60	T	0,4	3	60	13,5	2,820	0,281

189	0,25	40	T	0,8	3	90	15	4,023	0,214
190	0,15	40	T	0,8	9	60	9	2,004	0,194
191	0,15	60	S	0,8	3	90	13,5	1,918	0,246
192	0,15	60	S	1,2	3	60	13,5	0,930	0,203
193	0,25	40	S	0,8	6	75	15	3,443	0,181
194	0,15	60	T	0,8	6	75	13,5	1,682	0,279
195	0,15	60	T	0,8	3	90	13,5	2,090	0,279
196	0,15	60	S	1,2	9	75	13,5	0,822	0,233
197	0,25	60	S	1,2	3	90	22,5	2,777	0,243
198	0,15	60	S	0,4	6	60	13,5	2,305	0,258
199	0,25	40	S	1,2	9	90	15	2,820	0,179
200	0,15	40	S	0,8	9	60	9	1,832	0,161
201	0,25	60	S	1,2	9	60	22,5	2,477	0,243
202	0,15	40	S	0,8	9	75	9	1,896	0,171
203	0,25	40	S	1,2	9	60	15	2,691	0,159
204	0,15	60	T	0,4	6	60	13,5	2,477	0,291
205	0,25	40	T	0,8	9	60	15	3,723	0,214
206	0,25	60	T	0,4	3	60	22,5	4,539	0,301
207	0,15	60	T	0,8	9	75	13,5	1,854	0,289
208	0,15	60	S	0,4	9	90	13,5	2,605	0,288
209	0,15	60	S	1,2	6	60	13,5	0,586	0,213
210	0,15	40	S	1,2	3	90	9	1,273	0,139
211	0,25	60	T	0,8	9	90	22,5	3,637	0,319
212	0,15	40	S	0,8	9	90	9	1,961	0,181
213	0,25	40	S	0,8	6	90	15	3,508	0,191
214	0,15	60	T	0,8	9	60	13,5	1,789	0,279
215	0,15	60	S	0,4	6	90	13,5	2,434	0,278
216	0,15	60	T	1,2	6	90	13,5	0,887	0,267
Минимална вредност							9	0,586	0,119
Максимална вредност							22,5	4,883	0,341
Средња аритметичка вредност							15	2,734	0,230

Табела 5.1. Резултати мерења и израчунавања [84].

Добијени резултати указују на могућност контролисања излазних параметара у веома широким опсезима, и то за:

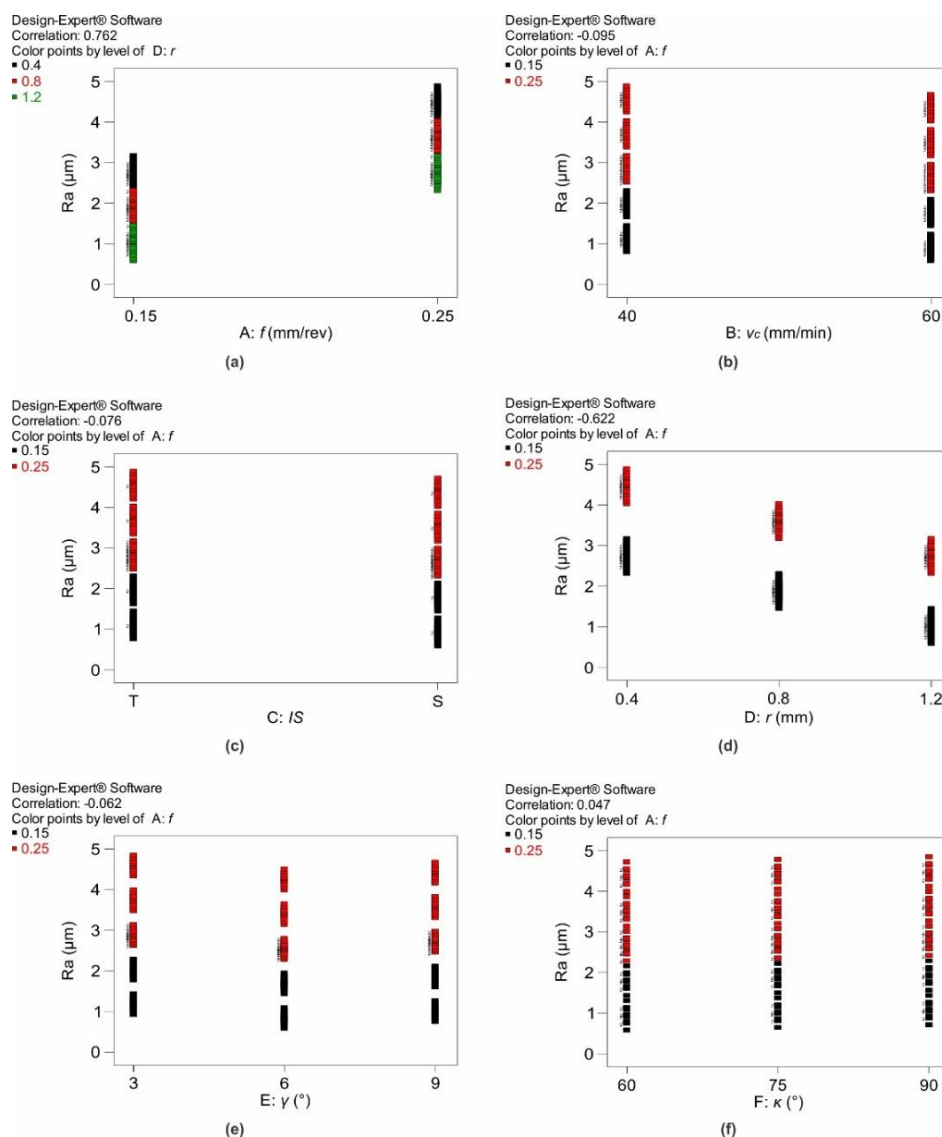
- средњу аритметичку храпавост обрађене површине у границама од 0,586 μm до 4,883 μm и са односом између максималне и минималне вредности од 8,3;
- леђно хабање резне плочице у границама од 0,119 mm до 0,341 mm и са односом између максималне и минималне вредности од 2,9;

- стопу уклањања материјала у границама од $9 \text{ mm}^3/\text{min}$ до $22,5 \text{ mm}^3/\text{min}$ и са односом између максималне и минималне вредности од 2,5.

Ово је веома битно када је потребно добити одређене вредности излазних параметара будући да циљ обраде није што бољи квалитет обрађене површине и што већа производност, већ тачно одређене вредности ових параметара, дефинисане техничко-технолошком документацијом.

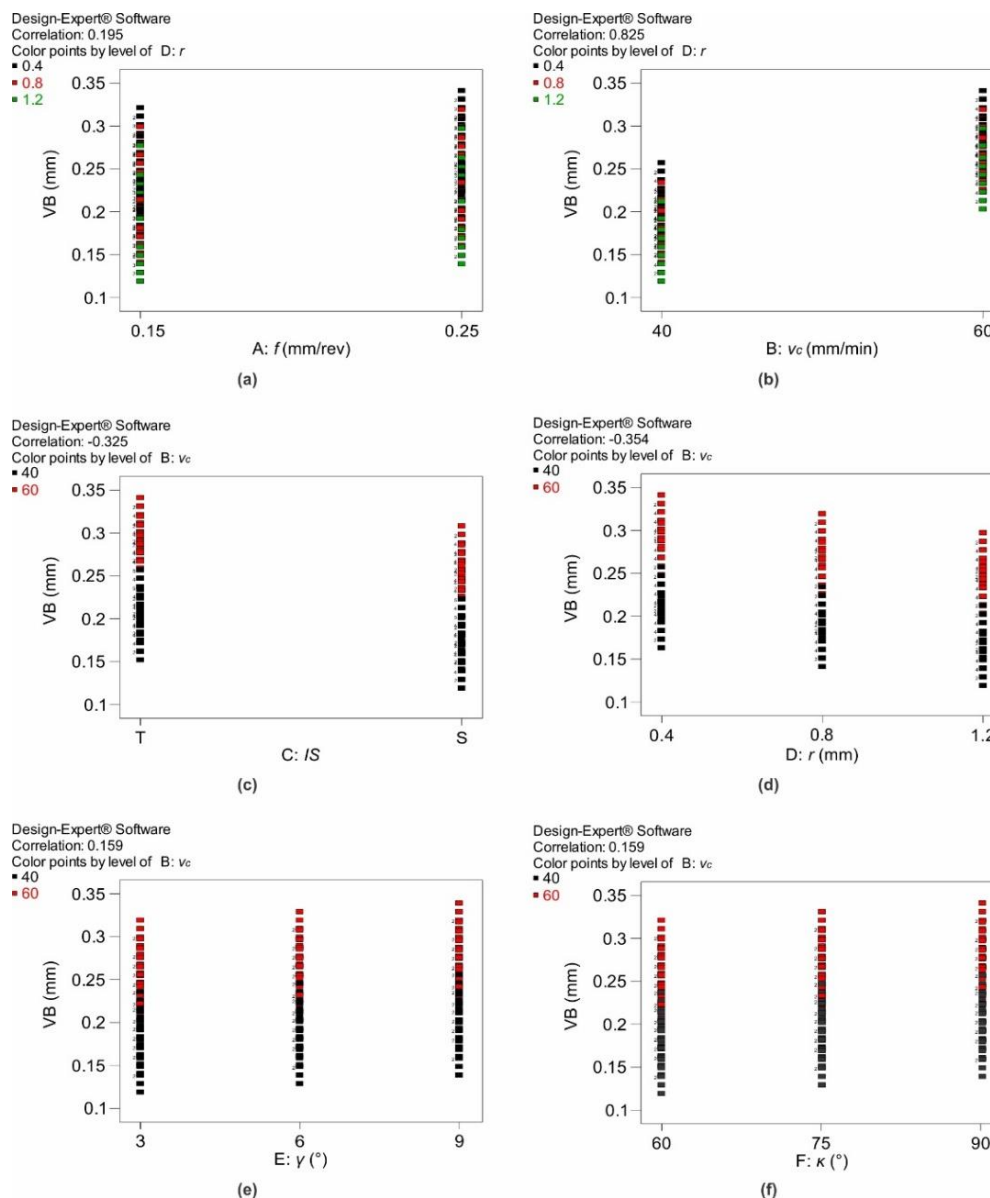
5.2. Статистичка обрада измерених резултата

Експериментални резултати су анализирани помоћу софтвера *Design Expert*. За анализу ефеката је примењена АНОВА (енгл. *Analysis of variance*). При томе, помак и брзина резања су третирани као континуални фактори, а облик резне плочице, радијус врха, грудни и нападни угао као категоријски фактори. Графичка презентација добијених резултата је приказана на сликама 5.1 и 5.2.



Слика 5.1. Зависност храпавости од улазних промењивих.

а) помак, б) брзина резања, ц) облик плочице, д) радијус врха, е) грудни угао, ф) нападни угао [84].



Слика 5.2. Зависност хабања алата од улазних променљивих.

а) помак, б) брзина резања, ц) облик плочице, д) радијус врха, е) грудни угао, ф) нападни угао [84].

На слици 5.1 је приказана зависност храпавости од улазних променљивих. Најутицајнији параметри на храпавост површине су помак (коэффициент корелације је 0,762) и радијус врха (коэффициент корелације је -0,622), а потом следе брзина резања (коэффициент корелације је -0,095), облик резне плочице (коэффициент корелације је 0,076), грудни угао (коэффициент корелације је -0,062) и нападни угао (коэффициент корелације је 0,047).

У табели 5.2 је приказана анализа варијансе за изабрани редуковани регресиони модел. F-вредност модела од 372,0577 имплицира да је модел значајан. P-вредности мање од 0,0500 указују да су фактори модела значајни, те су у овом случају A (помак), D (радијус врха) и F (нападни угао) значајни фактори модела.

Извор	Сума квадрата	Степени слободe	Средине сума квадрата	F-вредност	p-вредност Prob > F
Модел	266,4583	17	15,67402	372,0577	< 0,0001
A - f	159,5198	1	159,5198	3786,556	< 0,0001
D - r	106,3408	2	53,17039	1262,117	< 0,0001
F - κ	0,597787	2	0,298893	7,094898	0,0011
AD	$4,81 \cdot 10^{-7}$	2	$2,41 \cdot 10^{-7}$	$5,71 \cdot 10^{-6}$	1,0000
AF	$6,48 \cdot 10^{-8}$	2	$3,24 \cdot 10^{-8}$	$7,69 \cdot 10^{-7}$	1,0000
DF	$1,96 \cdot 10^{-6}$	4	$4,91 \cdot 10^{-7}$	$1,16 \cdot 10^{-5}$	1,0000
ADF	$2,07 \cdot 10^{-6}$	4	$5,19 \cdot 10^{-7}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$	1,0000
Резидуали	8,34133	198	0,042128		
Укупно	274,7997	215			

Табела 5.2. АНОВА за изабрани факторски модел храпавости [84].

У табели 5.3 су приказани сумарни показатељи изабраног факторског модела храпавости. Коефицијенти детерминације не разликују се значајно и износе 0,969646, 0,96704 и 0,963876. Коефицијент детерминације R^2 од 0,969646 сугерише да је приближно 97% варијабилности у храпавости дефинисано са помаком, радијусом врха и нападним углом.

Показатељ	Вредност
Стандардна девијација	0,205251
Средња вредност	2,73437
Коефицијент варијације %	7,506331
Коефицијент детерминације R^2	0,969646
Предикција коефицијента детерминације R^2_{adjusted}	0,96704
Прилагођени коефицијент детерминације $R^2_{\text{prediction}}$	0,963876

Табела 5.3. Сумарни показатељи за изабрани факторски модел храпавости [84].

Статистичком обрадом података за изабрани факторски модел храпавости добија се регресиона једначина у кодираним облику [84]:

$$\begin{aligned}
 Ra = & 2,73437 + 0,85937 \cdot A + 0,859324 \cdot D[1] + 4,63 \cdot 10^{-5} \cdot D[2] - 0,06444 \cdot \\
 & F[1] + 1,85 \cdot 10^{-5} \cdot F[2] + 1,85 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot D[1] + 4,63 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot D[2] - 2,3 \cdot 10^{-5} \\
 & \cdot A \cdot F[1] + 1,85 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot F[2] - 8,8 \cdot 10^{-5} \cdot D[1] \cdot F[1] + 2,31 \cdot 10^{-5} \cdot D[2] \cdot F[1] \quad (5.1) \\
 & + 0,000162 \cdot D[1] \cdot F[2] - 0,00014 \cdot D[2] \cdot F[2] - 3,2 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot D[1] \cdot F[1] + \\
 & 0,000106 \cdot A \cdot D[2] \cdot F[1] - 3,24 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot D[1] \cdot F[2] - 0,00014 \cdot A \cdot D[2] \cdot F[2]
 \end{aligned}$$

На слици 5.2 је приказана зависност хабања алата од улазних променљивих. Најутичајнији параметри на хабање резне плочице су брзина резања (коефицијент корелације је 0,825) радијус врха (коефицијент корелације је -0,354) и облик резне плочице (коефицијент корелације је 0,325), а потом следе помак (коефицијент

корелације је 0,195), грудни угао (коефицијент корелације је 0,159) и нападни угао (коефицијент корелације је 0,159).

Хабање резне плочице (VB) се смањује са смањењем помака (f), нападног угла (κ), грудног угла (γ) и брзине резања (v_c), као и са повећањем радијуса врха (r). Такође, хабање резне плочице је мање за S облик резне плочице (IS).

У табели 5.4 је приказана анализа варијансе за изабрани редуковани регресиони модел. F-вредност модела од 305,88 имплицира да је модел значајан. Р-вредности мање од 0,0500 указују да су фактори модела значајни, те су у овом случају В (брзина резања), С (облик резне плочице) и D (радијус врха) значајни фактори модела.

Извор варијације	Сума квадрата	Степени слободе	Средине сума квадрата	F-вредност	р-вредност Prob > F
Модел	0,52	7	0,074	305,88	< 0,0001
B - v_c	0,39	1	0,39	1598,69	< 0,0001
C - IS	0,060	1	0,060	247,99	< 0,0001
D - r	0,071	2	0,036	147,24	< 0,0001
BC	$4,63 \cdot 10^{-6}$	1	$4,63 \cdot 10^{-6}$	$1,91 \cdot 10^{-2}$	0,9965
BD	$2,68 \cdot 10^{-3}$	2	$1,34 \cdot 10^{-3}$	5,53	0,9945
Резидуали	0,050	208	$2,42 \cdot 10^{-1}$		
Укупно	0,57	215			

Табела 5.4. АНОВА за изабрани факторски модел хабања алата [84].

У табели 5.5 су приказани сумарни показатељи изабраног факторског модела хабања алата. Предикција коефицијента детерминације 0,9085 је у сагласности са прилагођеним коефицијентом детерминације 0,9045.

Показатељ	Вредност
Стандардна девијација	0,016
Средња вредност	0,23
Коефицијент варијације %	6,76
Коефицијент детерминације R^2	0,9115
Предикција коефицијента детерминације R^2_{adjusted}	0,9085
Прилагођени коефицијент детерминације $R^2_{\text{prediction}}$	0,9045

Табела 5.5. Сумарни показатељи за изабрани факторски модел хабања алата [84].

Статистичком обрадом података за изабрани факторски модел хабања алата добија се регресиона једначина у кодираном облику [84]:

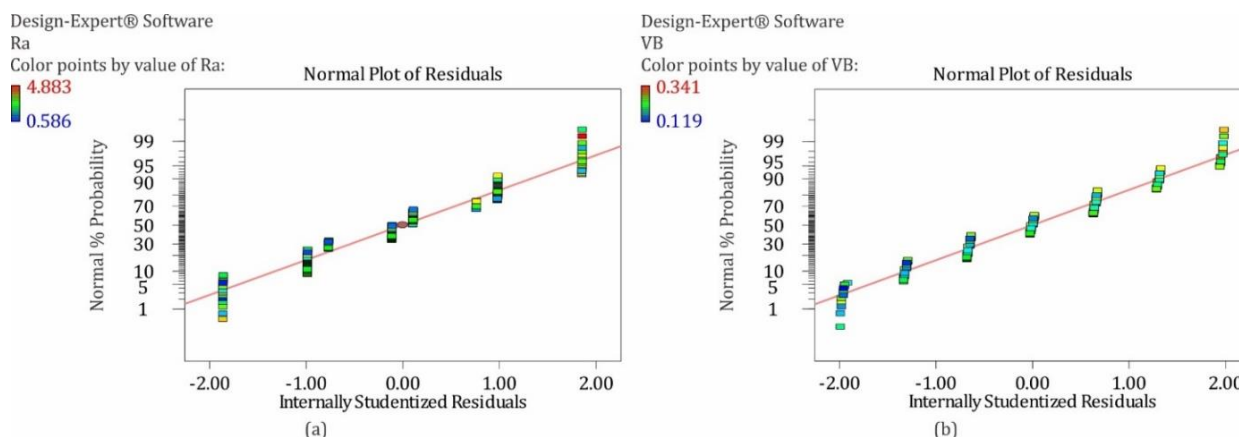
$$VB = 0,23 + 0,042 \cdot B - 0,017 \cdot C + 0,022 \cdot D[1] + 9,26 \cdot 10^{-3} \cdot D[2] + 4,63 \cdot 10^{-3} \cdot B \cdot C - 7,87 \cdot 10^{-2} \cdot B \cdot D[1] + 1,57 \cdot 10^{-1} \cdot B \cdot D[2] \quad (5.2)$$

Сprovedена је и провера адекватности модела, односно провера одређених претпоставки. Провера адекватности регресионог модела (дијагностика модела) обухвата:

- проверу о претпоставци нормалне дистрибуције резидуала (грешки) – *normal probability plot*,
- графички приказ зависности резидуала о редоследу извођења експеримента – *residuals versus run*,
- графички приказ зависности резидуала о предвиђеним вредностима (израчунатих моделом) – *residuals versus predicted*,
- графички приказ зависности резидуала о нивоима фактора – *residuals versus factor*.

Резидуали су разлика између вредности у експерименту (енгл. *actual*) и вредности израчунате регресионим моделом (енгл. *predicted*). Постоје и стандардни резидуали који се добију дељењем резидуала са стандардном девијацијом (корен из MS_E); 95% стандардних резидуала би требало бити у интервалу $\pm 2\sigma$, а сви стандардни резидуали у интервалу $\pm 3\sigma$ (према стандардној или јединичној нормалној дистрибуцији). Интерно студентизирани резидуали (енгл. *internally studentized residuals*) су врста стандардних резидуала, али се сваки резидуал дели са тзв. прилагођеном стандардном девијацијом, специфичном за поједини резидуал.

Са слике 5.3 која приказује, за оба одзива, интерно студентизирани резидуале (на хоризонталној оси) са њиховим кумулативним вероватноћама (на вертикалној оси) је видљиво да резидуали прате линију правца чиме је проверена претпоставка да подлежу нормалној дистрибуцији.

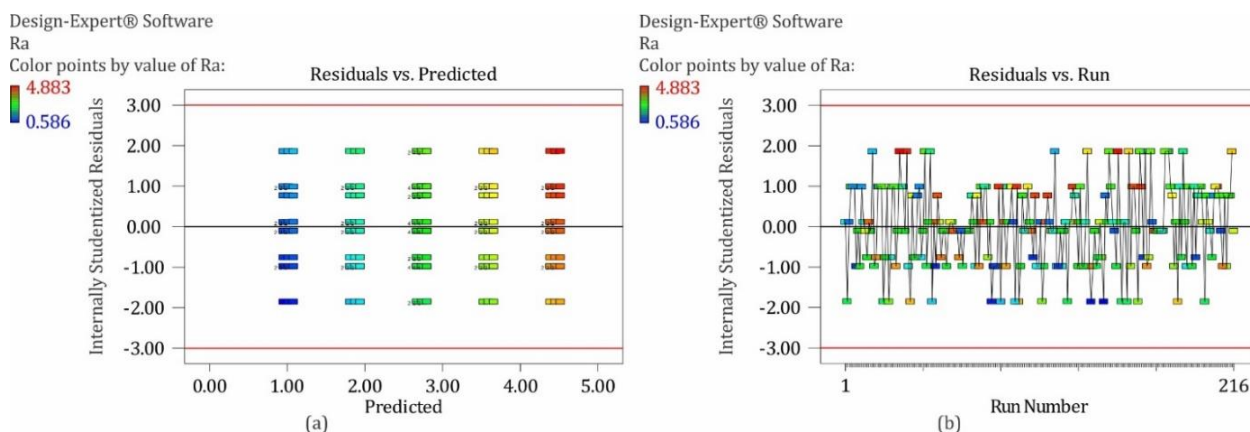


Слика 5.3. Провера претпоставке о нормалној расподели (дистрибуцији) резидуала грешки.

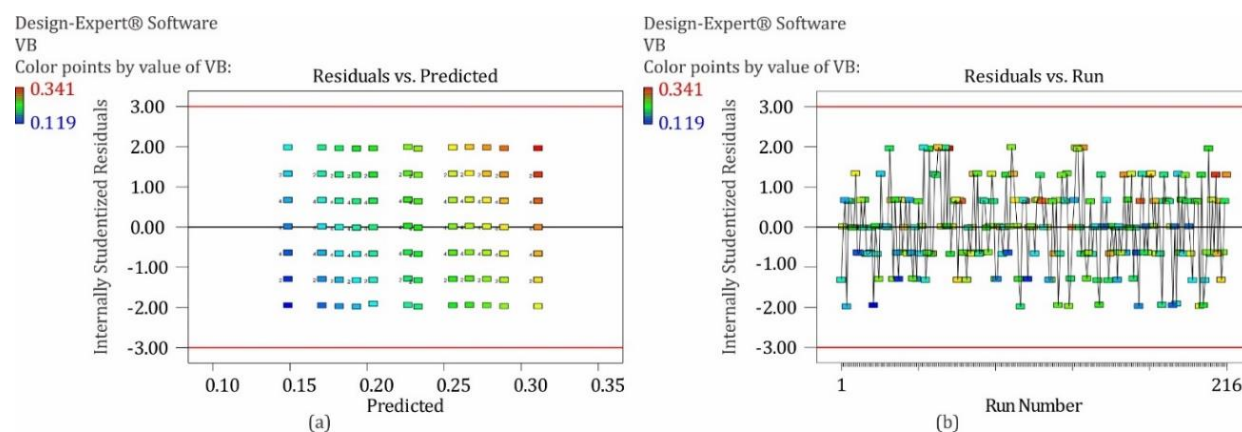
(а) за површинску храпавост, (б) за леђно хабање.

Са слика 5.4 и 5.5 видљиво је да интерно студентизирани резидуали не излазе из интервала ± 3 , а то осим потврде о нормалној стандардној расподели значи и да нема вредности које значајно одударају (енгл. *outliers*).

Резидуали морају бити независни, односно не би требало да постоји корелација (позитивна или негативна) са неком величином, тј. требало би да имају константну варијансу. На сликама 5.4 и 5.5 се може видети да су резидуали независни јер нема корелације (ни позитивне, а ни негативне) с предвиђеним вредностима (*predicted*, слике 5.4.а и 5.5.а) или са редоследом извођења експеримената (*run number*, слике 5.4.б и 5.5.б), а то значи да како је експеримент текао није дошло до системског смањења или повећања резидуала. Независност резидуала може се осигурати рандомизацијом у експерименту која је, поред осталог, и због тога јако значајна.



Слика 5.4. Интерно студентизирани резидуали за површинску храпавост у односу на (а) предвиђене вредности (израчунате моделом), (б) редослед извођења експеримента.



Слика 5.5. Интерно студентизирани резидуали за леђно хабање у односу на (а) предвиђене вредности (израчунате моделом), (б) редослед извођења експеримента.

На основу претходних провера регресионих модела, може се закључити да су адекватни пошто је доказано да су све претпоставке задовољене.

6. МОДЕЛИРАЊЕ ПРОЦЕСА

Вештачке неуронске мреже (енгл. *Artificial Neural Networks - ANN*) представљају математичке структуре које садрже међусобно повезане вештачке неуроне који oponашају, у много мањем опсегу, рад биолошке неуронске мреже, односно, рад људског мозга. Ови вештачки неурони имају могућност прикупљања, меморисања и коришћења експерименталног знања, односно, имају могућност учења. Вештачке неуронске мреже састоје се од једноставних елемената који раде паралелно у чему се и огледа њихов значај. Оне се обучавају (често се може наћи термин и прилагођавају) у циљу обављања неких сложених функција у различитим областима, укључујући препознавање образаца, идентификацију, класификацију, говор, визију и управљачке системе. Такође, вештачке неуронске мреже се могу обучавати за решавање проблема (задатака) који су комплексни савременим рачунарима или људским бићима [43]. Да би вештачке неуронске мреже имале могућност учења, неопходно је да оне буду обучаване са одговарајућим скупом података. Овај скуп података мора да се доведе у везу са променом излазних величина. Ово, дакле, указује на чињеницу да примена вештачких неуронских мрежа захтева довољан број експерименталних података за спровођење обуке, затим и тестирања мреже у смислу оцене њене обучености, односно, способности да генерализује везу између улазних и излазних величина [37, 124]. Скупови података за обуку подељени су у три групе: подаци за обуку, валидацију и тестирање. Подаци за обуку користе се у циљу прилагођавања карактеристичних параметара мреже. Валидациони скуп података користи се за доношење одлуке о прекиду процеса обуке и избегавања *overfitting-a* (претеране обучености мреже), док се тест скуп података користи за мерење перформанси развијених модела. Поред улазних података за обучавање постоји и додатни скуп података који се користи за тестирање вештачке неуронске мреже. Тестирање мреже се врши тако што се мрежи презентују потпуно нови (непознати) улазни подаци [124]. Развој вештачких неуронских мрежа (АНН модела), слика 6.1, представља сложен посао и подразумева решавање многих питања као што су [124]:

- одређивање улазних и излазних величина;
- избор система за генерисање потребних улазно/излазних података за обуку, валидацију и тестирање перформанси будућих неуронских модела;
- генерисање довољног броја улазно/излазних података за унапред одређене опсеге промене сваке улазне величине (у складу са усвојеном расподелом тих величина унутар предвиђених опсега);
- предпроцесирање података;
- избор архитектуре;
- избор алгоритма учења;

- обучавање (за различите почетне вредности тежинских коефицијената);
- валидација квалитета обучености мреже;
- тестирање перформанси добијених неуронских модела.

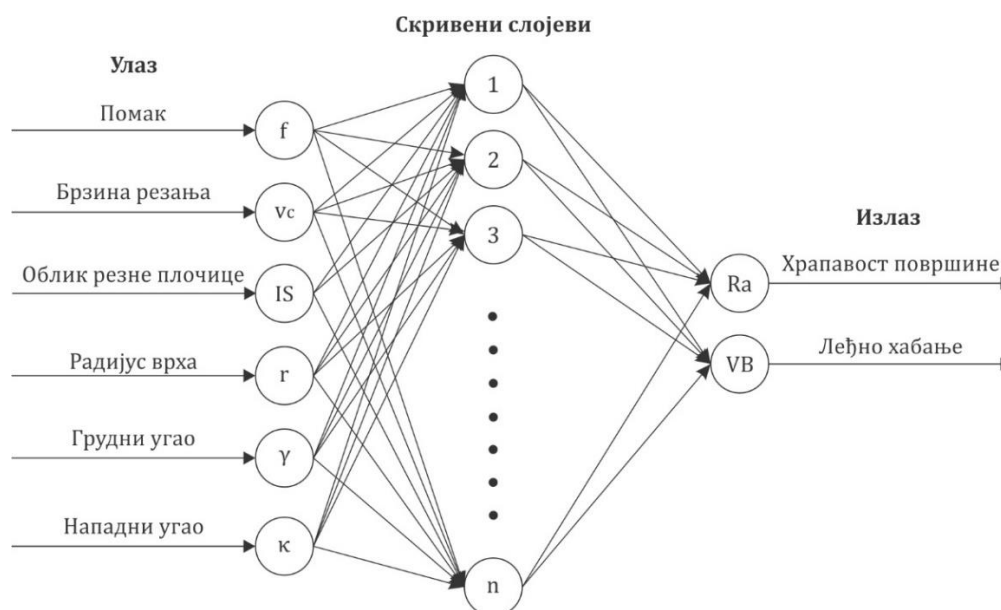


Слика 6.1. Општи концепт развоја вештачких неуронских мрежа (АНН модела) [124].

6.1. Развој АНН модела

Након прикупљања података на основу експеримената приступа се развоју АНН модела. Развијени модел за предикцију заснован је на вештачким науронским мрежама са пропацијом сигнала унапред (енгл. *feed – forward*) са алгоритмом обуке са пропацијом грешке уназад (енгл. *back propragation*) [43].

Приказана трослојна архитектура АНН модела, слика 6.2, састоји се од 6 улазних параметара: помак (f), брзина резања (v_c), облик резне плочице (IS), радијус врха (r), грудни угао (γ) и нападни угао (κ) и два излазна параметра: храпавост обрађене површине (Ra) и леђно хабање алата (VB). Улазни параметри су у формату 6×216 , док су излазни параметри у формату 2×216 .



Слика 6.2. Архитектура АНН модела [84, 83].

Одређивање оптималног броја неурона у скривеном слоју може се одредити применом различитих правила као што су [137]:

- број скривених неурона треба да буде између броја параметара у улазном слоју и броју параметара у излазном слоју;
- број скривених неурона треба да буде $2/3$ од броја параметара у улазном слоју плус број параметара у излазном слоју;
- број скривених неурона треба да буде мањи од двоструке величине броја параметара у улазном слоју.

Такође, одређивање броја неурона у скривеном слоју може се одредити применом пирамидалног правила које је предложио *Masters* [120]. Поред наведеног, оптималан број неурона такође може бити одређен и применом метода покушаја и грешака (енгл. *trial and errors*). Уопштено говорећи, не постоји нека општа процедура за проналажење оптималне архитектуре вештачких неуронских мрежа, док поменута правила могу послужити само као добре смернице. За потребе овог истраживања оптимална архитектура одредиће се на основу методе покушаја и грешака.

Развој АНН модела је спроведен у оквиру програмског пакета МАТЛАБ R2020а, у оквиру алата (енгл. *Tool Box*) за вештачке неуронске мреже кроз апликацију за подешавање (енгл. *Fitting*), која се користи за проблеме типа улаз-излаз (енгл. *Input – Output*) и задатке подешавања кривих (енгл. *Curve Fitting*). Поред тога, наведени програмски пакет користи и апликације за друге типове задатака као што су: препознавање образаца (енгл. *Pattern Recognition*), класификација (енгл. *Clasification*), кластеризација (енгл. *Clustering*) и динамички временски редови података (енгл. *Dinamic Time Series*).

Скуп података за обуку се састоји од 216 узорака који су насумично подељени у три групе са пропорцијом 70:15:15. Прва група састоји се од 152 узорака која се користи као скуп података за обуку, друга група од 32 узорака користи се као валидациони скуп података, док се трећа група од 32 узорака користи као скуп података за тестирање. За све три групе скупова података израчунавају се вредности средње квадратне грешке (енгл. *Mean Squared Error – MSE*) као мере перформансе.

6.2. Алгоритми обуке АНН модела

Апликација за подешавање у оквиру програмског језика МАТЛАБ, пружа уграђене алгоритме за обуку међу којима су: *Levenberg-Marquardt*, *Bayesian Regularization* и *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* који могу да се примењују за развој сопствених АНН модела.

Levenberg-Marquardt алгоритам [42] је дизајниран да се приближи брзини обуке другог реда без потребе за израчунавањем *Hessian* матрице [42]. Овај алгоритам је детаљно приказан у [117], док је примена *Levenberg-Marquardt* алгоритма за обуку вештачких неуронских мрежа приказана у [66]. *Levenberg-Marquardt* алгоритам представља најбржи алгоритам за обуку вештачких неуронских мрежа умерене

величине (до неколико стотина тежинских коефицијената), али захтева и више меморије у односу на друге алгоритме. Такође, овај алгоритам има веома ефикасну имплементацију у оквиру МАТЛАБ-а, зато што је решење матричне једначине уграђена функција, па и њени атрибути постају додатно изражени у МАТЛАБ окружењу.

Обука са *Levenberg-Marquardt* алгоритмом се зауставља оног момента када се постигне било који од наведених услова [121]:

- максимални број епоха (понављања);
- максимално време обуке;
- минимум перформанси;
- да градијент перформанси падне испод минималног градијента перформанси (енгл. *min_grad*);
- да почетна вредност скалара (енгл. *mu*) у Хесијановој матрици чија је почетна вредност 0,001 прелази максималну вредност *mu* (енгл. *mu_max*);
- када се перформансе валидације (грешке валидације) повећају више од максималаног броја неуспеха (енгл. *max_fail*) у односу на последње смањење (када се користи валидација).

Bayesian Regularization алгоритам минимизира линеарну комбинацију квадратних грешака и тежинских коефицијената. Такође, модификује линеарну комбинацију тако да на крају обуке резултујућа мрежа има добре квалитете генерализације. Више детаља о *Bayesian Regularization* алгоритму може се пронаћи у литератури [106, 54].

Обука са *Bayesian Regularization* алгоритмом се зауставља оног момента када се постигне било који од наведених услова [121, 14]:

- максимални број епоха (понављања);
- максимално време обуке;
- минимум перформанси;
- да градијент перформанси падне испод минималног градијента перформанси (енгл. *min_grad*);
- да почетна вредност скалара (енгл. *mu*) у Хесијановој матрици чија је почетна вредност 0,001 прелази максималну вредност *mu* (енгл. *mu_max*).

Обука са *Bayesian Regularization* алгоритмом обично траје дуже, али може се рећи да је добра у генерализацији малих скупова података.

Scaled Conjugate Gradient Backpropagation алгоритам може да обучава било коју мрежу све док њени тежински коефицијенти, улазни параметри и трансфер функције имају функцију деривата. Овај алгоритам је заснован на коњугованим правцима, где алгоритам не врши претрагу линије у свакој итерацији. Више детаља о овом алгоритму може се пронаћи у [128].

Обука са *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритмом се зауставља оног момента када се постигне било који од наведених услова [121]:

- максимални број епоха (понављања);
- максимално време обуке;
- минимум перформанси;
- да градијент перформанси падне испод минималног градијента перформанси (енгл. *min_grad*);
- када се перформансе валидације (грешке валидације) повећају више од максималног броја неуспеха (енгл. *max_fail*) у односу на последње смањење (када се користи валидација).

Овај алгоритам препоручује се код сложених проблема (задатака) зато што користи прорачуне градијента који су ефикаснији у меморији у односу на јакобијански прорачун који користе *Levenberg-Marquardt* и *Bayesian regularization* алгоритам.

6.2.1. Развој АНН модела применом *Levenberg-Marquardt* алгоритма

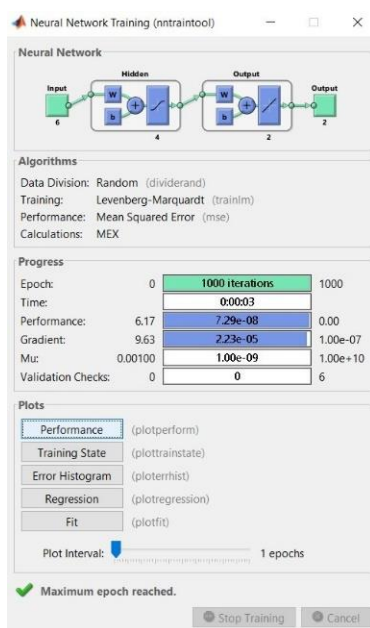
Развој АНН модела представља итеративни процес где се процес обуке врши помоћу улазно – излазног скупа података који су добијени експерименталним путем. Варирањем броја неурона у скривеном слоју, табела 6.1, тражи се оптимално решење (што је корелациони фактор ближи јединици, $R=1$, то је развијени АНН модел тачнији), што је у случају примене *Levenberg-Marquardt* алгоритма 4, табела 6.1. Даљим повећањем броја неурона у скривеном слоју може се видети да долази до понављања резултата.

Број итерације	Број неурона у скривеном слоју	Регресиона анализа (R)			
		Тренинг	Валидација	Тест	Укупно
1.	1	0,99784	0,99775	0,99805	0,99786
2.	2	0,99797	0,99849	0,99767	0,99797
3.	3	0,9984	0,99815	0,99762	0,99824
4.	4	1	1	1	1
5.	5	1	1	1	1
6.	6	1	1	1	1
7.	7	1	1	1	1
8.	8	0,99851	0,99763	0,99762	0,99819
9.	9	1	1	1	1
10.	10	1	1	1	1

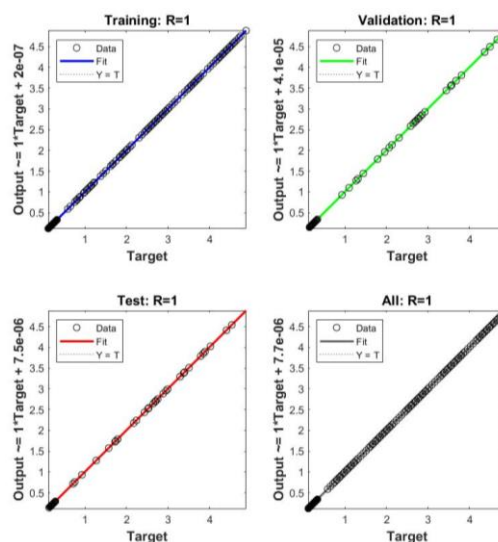
Табела 6.1. Приказ итеративних резултата обуке применом *Levenberg-Marquardt* алгоритма.

Процес обуке, регресија, перформансе, хистограм грешке и стање обуке оптималне архитектуре приказани су на слици 6.3. На слици 6.3.а, где је приказан процес обуке АНН модела применом *Levenberg-Marquardt* алгоритма може се видети да је процес обуке заустављен након достизања максималног броја епоха (1000

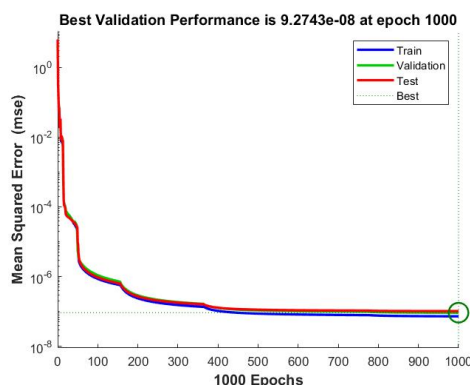
итерација). Слика 6.3.б приказује регресију (регресиону анализу) која се користи за проверу перформанси мреже. Приказани дијаграми регресије приказују излазе из мреже у односу на циљане (жељене скупове података). За савршено уклапање функције (енг. *Fiting function*) подаци треба да „падну“ на линију под углом од 45°. За решавање задатка у овој докторској дисертацији може се рећи да је уклапање функције одлично за све скупове података (обука, валидација и тестирање), пошто корелациони фактор R има вредности $R=1$, за све скопове података. Са слике 6.3.ц где су приказане перформансе обуке може се констатовати да су ови резултати прихватљиви због следећег: средња квадратна грешка (MSE) је мала, грешка скупа података за тестирање и грешка скупа података за валидацију имају сличне карактеристике и до 1000-те итерације није дошло до претренираности модела где се јављају најбоље перформансе обуке.



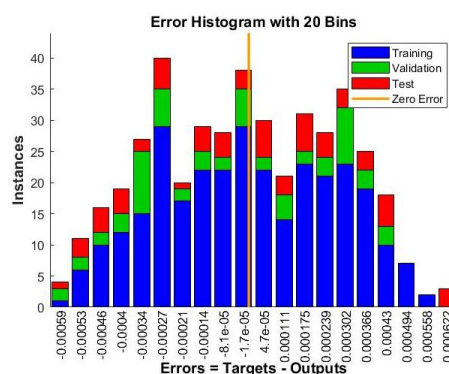
а)



б)



ц)



д)

Слика 6.3. Приказ оптималних резултата обуке применом *Levenberg-Marquardt* алгоритма (АНН архитектура са 4 неурона у скривеном слоју).

а) процес обуке, б) регресија, ц) перформансе, д) хистограм грешке [84, 83].

На слици 6.3.д која представља хистограм грешке могу се видети подаци који су знатно лошији у односу на већину података, односно подаци који имају лош утицај на уклапање функције. Избацивањем ових података из процеса обуке или финим подешавањем може се побољшати тачност модела. За потребе овог задатка фино подешавање или избацивање одређених података који улазе у процес обуке нису били потребни зато што је постигнут укупни корелациони фактор $R=1$. На основу приказаних графичких резултата може се констатовати да је постигнута одлична корелација између циљаних (жељених) података и излазних података из мреже.

6.2.2. Развој АНН модела применом *Bayesian Regularization* алгоритма

Процес развоја АНН модела (процес обуке) применом *Bayesian Regularization* алгоритма је идентичан процесу обуке применом *Levenberg-Marquardt* алгоритма. Једина разлика је у примењеном алгоритму и резултатима обуке. Варирањем броја неурона у скривеном слоју, табела 6.2, тражи се оптимално решење, што је у случају примене *Bayesian Regularization* алгоритма 4 (исти број неурона у скривеном слоју као и код претходног алгоритма, с тим да има разлике у самој тачности). Даљим повећањем броја неурона у скривеном слоју може се видети да долази до понављања резултата.

Број итерације	Број неурона у скривеном слоју	Регресиона анализа (R)			
		Тренинг	Валидација	Тест	Укупно
1.	1	0,99802	-	0,99809	0,99802
2.	2	0,99829	-	0,99804	0,99824
3.	3	0,99838	-	0,9977	0,99827
4.	4	1	-	1	1
5.	5	1	-	1	1
6.	6	1	-	1	1
7.	7	1	-	1	1
8.	8	1	-	1	1
9.	9	1	-	1	1
10.	10	1	-	1	1

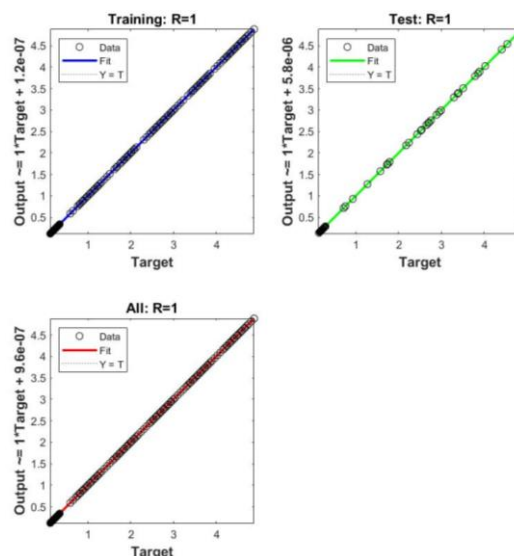
Табела 6.2. Приказ итеративних резултата обуке применом *Bayesian Regularization* алгоритма.

Процес обуке, регресија, перформансе, хистограм грешке и стање обуке оптималне архитектуре приказани су на слици 6.4. На слици 6.4.а, приказан је процес обуке развоја АНН модела применом *Bayesian Regularization* алгоритма где се може видети да је процес обуке заустављен након достизања максималног броја епоха (1000 итерација). Слика 6.4.б приказује регресију и за решавање овог задатка може се рећи да је уклапање функције одлично за све скупове података (обука, валидација и тестирање), пошто корелациони фактор R има вредности $R=1$. Овде дијаграм за валидацију није видљив из разлога што примена овог алгоритма онемогућава да се валидација зауставља по подразумеваном обрасцу. Образложење за ово је да се валидација обично користи као облик регуларизације. Са слике 6.4.ц где су приказане

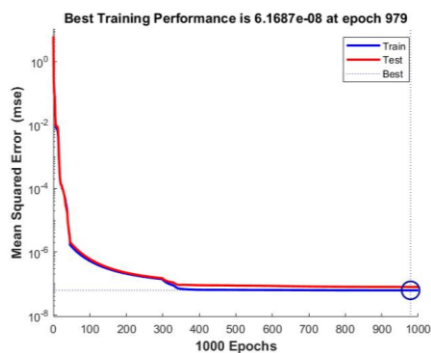
перформансе обуке може се констатовати да су ови резултати прихватљиви због следећег: средња квадратна грешка је мала, грешка скупа података за тестирање и грешка скупа података за обуку имају сличне карактеристике и до 1000-те итерације није дошло до претренираности АНН модела где се јављају најбоље перформансе обуке. Анализа хистограма грешке, слика 6.4.д и код овог алгоритма није потребна, пошто је постигнут укупни корелациони фактор $R=1$. На основу приказаних графичких резултата може се констатовати да је постигнута одлична корелација између циљаних (жељених) података и излазних података из мреже.



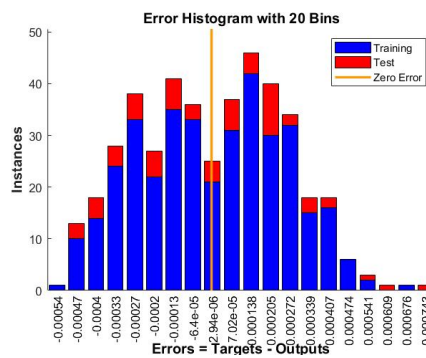
а)



б)



ц)



д)

Слика 6.4. Приказ оптималних резултата обуке применом *Bayesian Regularization* алгоритма (АНН архитектура са 4 неурона у скривеном слоју).

а) процес обуке, б) регресија, ц) перформансе, д) хистограм грешке [83].

6.2.3. Развој АНН модела применом *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритма

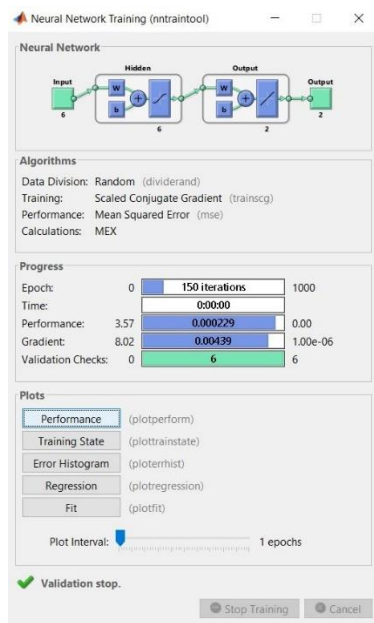
Процес развоја АНН модела (процес обуке) применом *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритма је идентичан процесу обуке применом *Levenberg-Marquardt* и *Bayesian Regularization* алгоритма. Једина разлика је у примењеном

алгоритму и резултатима обуке. Варирањем броја неурона у скривеном слоју, табела 6.3, тражи се оптимално решење, што је у случају примене *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритма 6. Даљим повећањем броја неурона у скривеном слоју може се видети да долази до понављања резултата.

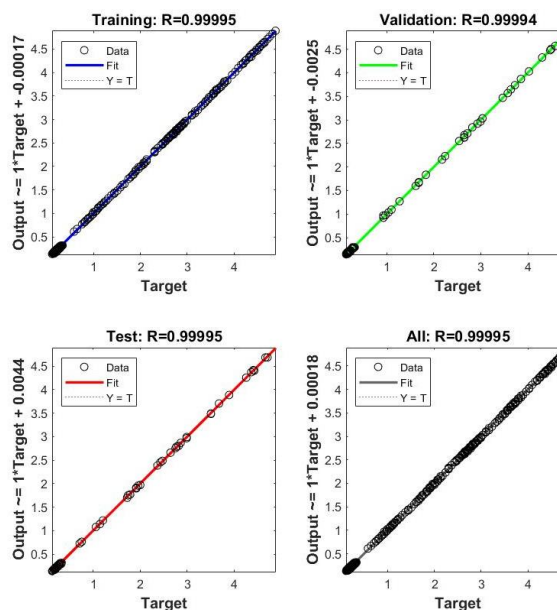
Број итерације	Број неурона у скривеном слоју	Регресиона анализа (R)			
		Тренинг	Валидација	Тест	Укупно
1.	1	0,99796	0,99771	0,99811	0,99795
2.	2	0,99811	0,99873	0,99776	0,99811
3.	3	0,99627	0,99619	0,99476	0,99603
4.	4	0,99794	0,99716	0,99677	0,99767
5.	5	0,98967	0,9917	0,99226	0,99036
6.	6	0,99995	0,99994	0,99995	0,99995
7.	7	0,99275	0,99311	0,99188	0,99264
8.	8	0,99805	0,99739	0,99677	0,9977
9.	9	0,99051	0,99406	0,99017	0,99099
10.	10	0,99603	0,99591	0,99547	0,99589

Табела 6.3. Приказ итеративних резултата обуке применом *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритма.

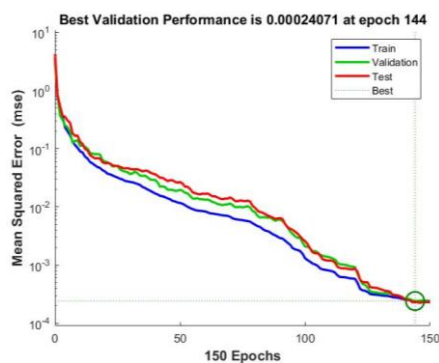
Процес обуке, регресија, перформансе, хистограм грешке и стање обуке оптималне архитектуре приказани су на слици 6.5. На слици 6.5.а, где је приказан процес обуке развоја АНН модела применом *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритма, може се видети да је процес обуке заустављен након достизања максималног броја епоха (150 итарација). Слика 6.5.б приказује регресију и за решавање овог задатка може се рећи да је уклапање функције одлично пошто корелациони фактор R има вредности $R=0,99995$ за скуп података за обуку и тестирање и укупни корелациони фактор $R=0,99994$ за валидацини скуп података. Са слике 6.5.ц, где су приказане перформансе обуке, може се констатовати да су ови резултати прихватљиви због следећег: средња квадратна грешка је мала, грешка скупа података за тестирање и грешка скупа података за валидацију имају сличне карактеристике и до 150-те итерације није дошло до претренираности АНН модела, где се јављају најбоље перформансе обуке. Анализа хистограма грешке, слика 6.5.д и код овог алгоритма није потребна, пошто је постигнут укупни корелациони фактор $R=0,99995$. На основу приказаних графичких резултата може се констатовати да је постигнута одлична корелација између циљаних (жељених) података и излазних података из мреже.



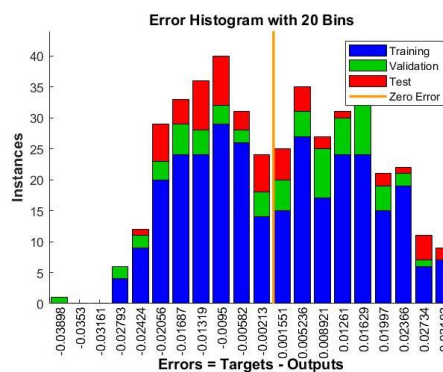
а)



б)



ц)



д)

Слика 6.5. Приказ оптималних резултата обуке применом *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритма (АНН архитектура са 6 неурона у скривеном слоју).

а) процес обуке, б) регресија, ц) перформансе, д) хистограм грешке [83].

На основу анализе резултата обуке за сва три алгоритма може се извести закључак да *Levenberg-Marquardt* алгоритам даје најбоље решење АНН модела.

6.3. Предикција применом развијених АНН модела

Резултати предикције за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање за *Levenberg - Marquardt* алгоритам, *Bayesian Regularization* алгоритам и *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритам приказани су у табелама 6.4 – 6.6, а добијене процентуалне и апсолутне грешке у табелама 6.7 – 6.9, респективно.

Р. бр.	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra (μm)	VB (mm)
1	0,15	60	T	1,2	3	90	1,231	0,257
2	0,25	40	T	0,4	9	75	4,647	0,247
3	0,25	60	T	0,8	3	60	3,680	0,279
4	0,25	60	T	1,2	6	75	2,541	0,277
5	0,15	40	T	0,8	6	60	1,832	0,184
6	0,15	40	S	1,2	6	90	0,930	0,149
7	0,15	40	T	0,8	9	90	2,133	0,214
8	0,15	40	T	0,8	3	60	2,176	0,174
9	0,25	60	S	0,8	3	60	3,508	0,246
10	0,25	40	S	0,8	9	90	3,680	0,201
11	0,15	40	S	1,2	3	60	1,145	0,119
12	0,15	60	T	0,4	9	75	2,713	0,311
13	0,25	60	T	0,8	3	90	3,809	0,299
14	0,25	60	S	1,2	6	75	2,369	0,243
15	0,15	40	S	1,2	6	75	0,865	0,139
16	0,15	40	T	0,4	6	90	2,820	0,227
17	0,25	40	S	0,4	6	90	4,367	0,213
18	0,25	40	S	0,4	3	75	4,646	0,193
19	0,25	40	T	1,2	6	75	2,756	0,192
20	0,25	60	S	0,4	9	60	4,195	0,288
21	0,15	60	T	1,2	9	75	0,994	0,267
22	0,25	60	S	0,4	9	75	4,260	0,298
23	0,25	40	T	0,4	6	75	4,475	0,237
24	0,25	60	T	0,4	9	90	4,496	0,341
25	0,25	60	T	1,2	9	90	2,777	0,297
26	0,15	60	T	0,4	3	75	2,885	0,291
27	0,25	60	T	0,8	6	90	3,465	0,309
28	0,15	40	S	1,2	9	90	1,101	0,159
29	0,15	60	S	0,8	9	90	1,746	0,266
30	0,25	40	S	0,8	9	60	3,551	0,181
31	0,15	40	S	1,2	3	75	1,209	0,129
32	0,15	60	S	0,4	3	75	2,713	0,258
33	0,25	60	S	0,8	9	90	3,465	0,286
34	0,25	40	S	1,2	9	75	2,756	0,169
35	0,25	60	S	1,2	6	60	2,305	0,233
36	0,25	40	S	0,4	3	90	4,711	0,203
37	0,25	60	S	0,8	6	90	3,293	0,276
38	0,25	60	T	0,8	6	75	3,400	0,299
39	0,15	60	S	0,4	3	90	2,777	0,268
40	0,25	40	T	1,2	3	75	3,099	0,182
41	0,25	40	T	0,8	9	75	3,787	0,224
42	0,15	40	T	0,8	6	75	1,896	0,194

43	0,15	40	S	0,4	6	60	2,519	0,173
44	0,25	40	T	1,2	9	60	2,863	0,192
45	0,25	40	T	0,8	6	60	3,551	0,204
46	0,25	60	T	1,2	3	90	2,949	0,277
47	0,25	60	S	0,8	6	75	3,229	0,266
48	0,25	60	S	0,8	9	75	3,401	0,276
49	0,15	40	T	0,8	3	75	2,240	0,184
50	0,15	60	S	1,2	9	90	0,887	0,243
51	0,15	40	T	1,2	6	90	1,102	0,182
52	0,15	60	S	1,2	9	60	0,758	0,223
53	0,25	40	S	0,4	6	75	4,303	0,203
54	0,25	40	T	1,2	3	60	3,035	0,172
55	0,15	60	T	0,4	3	90	2,949	0,301
56	0,15	60	T	0,4	9	60	2,649	0,301
57	0,25	60	T	0,4	6	90	4,324	0,331
58	0,15	60	T	0,4	6	75	2,541	0,301
59	0,25	60	S	0,4	6	60	4,023	0,278
60	0,25	40	T	0,4	6	90	4,539	0,247
61	0,25	60	T	0,4	9	75	4,432	0,331
62	0,15	60	T	0,8	3	75	2,025	0,269
63	0,15	40	T	0,8	6	90	1,961	0,204
64	0,15	40	S	0,8	3	60	2,004	0,141
65	0,15	40	T	0,4	9	75	2,928	0,227
66	0,25	60	S	1,2	9	75	2,541	0,253
67	0,15	40	T	0,8	3	90	2,305	0,194
68	0,15	40	S	0,8	6	60	1,660	0,151
69	0,25	40	T	0,8	6	75	3,615	0,214
70	0,25	60	T	0,4	3	75	4,604	0,311
71	0,25	40	S	0,8	9	75	3,615	0,191
72	0,25	40	S	0,4	9	60	4,410	0,203
73	0,25	40	S	0,4	6	60	4,238	0,193
74	0,15	60	T	1,2	9	90	1,059	0,277
75	0,25	40	T	0,8	3	60	3,895	0,194
76	0,25	40	S	0,8	6	60	3,379	0,171
77	0,15	40	S	0,8	3	75	2,068	0,151
78	0,15	40	T	0,4	6	75	2,756	0,217
79	0,25	60	T	1,2	9	75	2,713	0,287
80	0,15	40	S	0,4	3	75	2,928	0,173
81	0,15	40	T	0,4	6	60	2,691	0,207
82	0,15	60	T	1,2	3	75	1,166	0,247
83	0,25	40	S	0,4	3	60	4,582	0,183
84	0,25	40	T	0,4	3	60	4,754	0,217
85	0,15	60	S	0,8	3	75	1,853	0,236

86	0,25	60	T	1,2	6	60	2,477	0,267
87	0,15	60	S	0,4	9	60	2,477	0,268
88	0,15	60	S	0,8	6	90	1,574	0,256
89	0,15	40	T	0,4	9	60	2,863	0,217
90	0,25	40	T	0,4	3	90	4,883	0,237
91	0,15	60	S	1,2	3	90	1,059	0,223
92	0,25	40	T	1,2	3	90	3,164	0,192
93	0,15	40	S	1,2	6	60	0,801	0,129
94	0,15	40	T	1,2	3	75	1,381	0,162
95	0,25	40	T	1,2	6	60	2,691	0,182
96	0,25	40	T	0,8	6	90	3,680	0,224
97	0,15	60	T	0,8	9	90	1,918	0,299
98	0,25	60	T	1,2	6	90	2,605	0,287
99	0,25	40	S	0,8	3	60	3,723	0,161
100	0,15	60	S	1,2	6	90	0,715	0,233
101	0,15	60	T	0,8	6	60	1,617	0,269
102	0,25	60	S	1,2	3	75	2,713	0,233
103	0,15	40	T	0,8	9	75	2,068	0,204
104	0,15	40	S	0,8	6	90	1,789	0,171
105	0,25	60	T	0,8	9	60	3,508	0,299
106	0,25	40	T	0,4	9	90	4,711	0,257
107	0,15	60	T	1,2	9	60	0,930	0,257
108	0,15	40	T	1,2	9	60	1,145	0,172
109	0,15	40	T	0,4	9	90	2,992	0,237
110	0,15	40	T	1,2	6	60	0,973	0,162
111	0,25	40	T	0,4	6	60	4,410	0,227
112	0,15	40	T	1,2	6	75	1,037	0,172
113	0,25	40	T	0,8	3	75	3,959	0,204
114	0,25	40	S	1,2	6	60	2,520	0,149
115	0,25	60	S	0,4	3	75	4,432	0,278
116	0,25	60	S	0,4	6	90	4,152	0,298
117	0,25	60	S	0,8	9	60	3,336	0,266
118	0,25	40	S	0,4	9	90	4,539	0,223
119	0,15	40	S	0,4	9	60	2,691	0,183
120	0,15	60	S	1,2	3	75	0,994	0,213
121	0,15	60	T	0,4	6	90	2,605	0,311
122	0,25	40	T	1,2	9	90	2,992	0,212
123	0,15	60	S	0,8	9	75	1,682	0,256
124	0,25	40	T	1,2	9	75	2,928	0,202
125	0,15	60	S	0,4	6	75	2,369	0,268
126	0,25	60	T	0,8	6	60	3,336	0,289
127	0,25	40	S	1,2	6	90	2,648	0,169
128	0,25	60	T	0,4	3	90	4,668	0,321

129	0,25	60	S	1,2	6	90	2,433	0,253
130	0,15	40	S	1,2	9	60	0,973	0,139
131	0,15	40	S	0,4	6	90	2,648	0,193
132	0,25	40	S	1,2	3	90	2,992	0,159
133	0,25	40	T	0,4	3	75	4,818	0,227
134	0,15	40	T	0,4	3	60	3,035	0,197
135	0,15	40	T	1,2	9	75	1,209	0,182
136	0,25	40	S	0,8	3	75	3,787	0,171
137	0,25	60	T	0,4	6	75	4,260	0,321
138	0,25	40	T	0,8	9	90	3,852	0,234
139	0,15	60	T	1,2	6	75	0,822	0,257
140	0,15	40	S	0,4	3	90	2,992	0,183
141	0,25	60	T	0,8	3	75	3,744	0,289
142	0,25	60	T	1,2	3	60	2,820	0,257
143	0,15	60	S	0,8	6	60	1,445	0,236
144	0,25	60	S	0,4	6	75	4,088	0,288
145	0,15	40	S	0,4	9	90	2,820	0,203
146	0,15	40	T	1,2	3	60	1,317	0,152
147	0,15	40	S	0,4	9	75	2,756	0,193
148	0,15	40	S	0,4	6	75	2,584	0,183
149	0,15	40	S	0,4	3	60	2,863	0,163
150	0,25	60	T	1,2	9	60	2,649	0,277
151	0,25	60	S	1,2	9	90	2,605	0,263
152	0,15	40	T	1,2	3	90	1,446	0,172
153	0,15	60	T	1,2	3	60	1,102	0,237
154	0,15	60	T	1,2	6	60	0,758	0,247
155	0,25	60	S	1,2	3	60	2,649	0,223
156	0,25	60	S	0,8	3	75	3,572	0,256
157	0,25	40	S	0,4	9	75	4,475	0,213
158	0,25	60	S	0,4	9	90	4,324	0,308
159	0,15	40	S	1,2	9	75	1,037	0,149
160	0,25	40	S	0,8	3	90	3,852	0,181
161	0,25	60	T	0,8	9	75	3,572	0,309
162	0,25	40	S	1,2	3	75	2,928	0,149
163	0,15	40	T	1,2	9	90	1,274	0,192
164	0,25	40	T	0,4	9	60	4,582	0,237
165	0,15	40	S	0,8	6	75	1,724	0,161
166	0,25	40	S	1,2	3	60	2,863	0,139
167	0,25	60	T	0,4	6	60	4,195	0,311
168	0,25	60	S	0,4	3	60	4,367	0,268
169	0,15	60	S	0,8	3	60	1,789	0,226
170	0,25	60	S	0,4	3	90	4,496	0,288
171	0,15	60	T	0,4	9	90	2,777	0,321

172	0,15	60	S	0,8	6	75	1,510	0,246
173	0,25	60	S	0,8	3	90	3,637	0,266
174	0,15	60	T	0,8	6	90	1,746	0,289
175	0,15	60	T	0,8	3	60	1,961	0,259
176	0,15	40	T	0,4	3	75	3,100	0,207
177	0,15	60	S	0,4	3	60	2,649	0,248
178	0,15	40	S	0,8	3	90	2,133	0,161
179	0,25	40	S	1,2	6	75	2,584	0,159
180	0,25	40	T	1,2	6	90	2,820	0,202
181	0,15	60	S	1,2	6	75	0,650	0,223
182	0,15	60	S	0,4	9	75	2,541	0,278
183	0,25	60	T	0,4	9	60	4,367	0,321
184	0,15	60	S	0,8	9	60	1,617	0,246
185	0,25	60	S	0,8	6	60	3,164	0,256
186	0,15	40	T	0,4	3	90	3,164	0,217
187	0,25	60	T	1,2	3	75	2,885	0,267
188	0,15	60	T	0,4	3	60	2,820	0,281
189	0,25	40	T	0,8	3	90	4,024	0,214
190	0,15	40	T	0,8	9	60	2,004	0,194
191	0,15	60	S	0,8	3	90	1,918	0,246
192	0,15	60	S	1,2	3	60	0,930	0,203
193	0,25	40	S	0,8	6	75	3,443	0,181
194	0,15	60	T	0,8	6	75	1,682	0,279
195	0,15	60	T	0,8	3	90	2,090	0,279
196	0,15	60	S	1,2	9	75	0,822	0,233
197	0,25	60	S	1,2	3	90	2,777	0,243
198	0,15	60	S	0,4	6	60	2,305	0,258
199	0,25	40	S	1,2	9	90	2,820	0,179
200	0,15	40	S	0,8	9	60	1,832	0,161
201	0,25	60	S	1,2	9	60	2,477	0,243
202	0,15	40	S	0,8	9	75	1,896	0,171
203	0,25	40	S	1,2	9	60	2,691	0,159
204	0,15	60	T	0,4	6	60	2,477	0,291
205	0,25	40	T	0,8	9	60	3,723	0,214
206	0,25	60	T	0,4	3	60	4,539	0,301
207	0,15	60	T	0,8	9	75	1,854	0,289
208	0,15	60	S	0,4	9	90	2,606	0,288
209	0,15	60	S	1,2	6	60	0,586	0,213
210	0,15	40	S	1,2	3	90	1,274	0,139
211	0,25	60	T	0,8	9	90	3,637	0,319
212	0,15	40	S	0,8	9	90	1,961	0,181
213	0,25	40	S	0,8	6	90	3,508	0,191
214	0,15	60	T	0,8	9	60	1,789	0,279

215	0,15	60	S	0,4	6	90	2,434	0,278
216	0,15	60	T	1,2	6	90	0,887	0,267
Минимална вредност							0,586	0,119
Максимална вредност							4,883	0,341
Средња аритметичка вредност							2,734	0,230

Табела 6.4. Резултати предикције за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање за *Levenberg - Marquardt* алгоритам.

Р. бр.	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra (μm)	VB (mm)
1	0,15	60	T	1,2	3	90	1,230	0,257
2	0,25	40	T	0,4	9	75	4,646	0,247
3	0,25	60	T	0,8	3	60	3,680	0,279
4	0,25	60	T	1,2	6	75	2,541	0,277
5	0,15	40	T	0,8	6	60	1,832	0,184
6	0,15	40	S	1,2	6	90	0,930	0,149
7	0,15	40	T	0,8	9	90	2,133	0,214
8	0,15	40	T	0,8	3	60	2,176	0,174
9	0,25	60	S	0,8	3	60	3,508	0,246
10	0,25	40	S	0,8	9	90	3,680	0,201
11	0,15	40	S	1,2	3	60	1,145	0,119
12	0,15	60	T	0,4	9	75	2,713	0,311
13	0,25	60	T	0,8	3	90	3,809	0,299
14	0,25	60	S	1,2	6	75	2,369	0,243
15	0,15	40	S	1,2	6	75	0,865	0,139
16	0,15	40	T	0,4	6	90	2,820	0,227
17	0,25	40	S	0,4	6	90	4,367	0,213
18	0,25	40	S	0,4	3	75	4,646	0,193
19	0,25	40	T	1,2	6	75	2,756	0,192
20	0,25	60	S	0,4	9	60	4,195	0,288
21	0,15	60	T	1,2	9	75	0,994	0,267
22	0,25	60	S	0,4	9	75	4,260	0,298
23	0,25	40	T	0,4	6	75	4,475	0,237
24	0,25	60	T	0,4	9	90	4,496	0,341
25	0,25	60	T	1,2	9	90	2,777	0,297
26	0,15	60	T	0,4	3	75	2,885	0,291
27	0,25	60	T	0,8	6	90	3,465	0,309
28	0,15	40	S	1,2	9	90	1,102	0,159
29	0,15	60	S	0,8	9	90	1,746	0,266
30	0,25	40	S	0,8	9	60	3,551	0,181
31	0,15	40	S	1,2	3	75	1,209	0,129
32	0,15	60	S	0,4	3	75	2,713	0,258
33	0,25	60	S	0,8	9	90	3,465	0,286

34	0,25	40	S	1,2	9	75	2,756	0,169
35	0,25	60	S	1,2	6	60	2,305	0,233
36	0,25	40	S	0,4	3	90	4,711	0,203
37	0,25	60	S	0,8	6	90	3,293	0,276
38	0,25	60	T	0,8	6	75	3,400	0,299
39	0,15	60	S	0,4	3	90	2,777	0,268
40	0,25	40	T	1,2	3	75	3,100	0,182
41	0,25	40	T	0,8	9	75	3,787	0,224
42	0,15	40	T	0,8	6	75	1,896	0,194
43	0,15	40	S	0,4	6	60	2,519	0,173
44	0,25	40	T	1,2	9	60	2,863	0,192
45	0,25	40	T	0,8	6	60	3,551	0,204
46	0,25	60	T	1,2	3	90	2,949	0,277
47	0,25	60	S	0,8	6	75	3,229	0,266
48	0,25	60	S	0,8	9	75	3,400	0,276
49	0,15	40	T	0,8	3	75	2,240	0,184
50	0,15	60	S	1,2	9	90	0,887	0,243
51	0,15	40	T	1,2	6	90	1,102	0,182
52	0,15	60	S	1,2	9	60	0,758	0,223
53	0,25	40	S	0,4	6	75	4,303	0,203
54	0,25	40	T	1,2	3	60	3,035	0,172
55	0,15	60	T	0,4	3	90	2,949	0,301
56	0,15	60	T	0,4	9	60	2,648	0,301
57	0,25	60	T	0,4	6	90	4,324	0,331
58	0,15	60	T	0,4	6	75	2,541	0,301
59	0,25	60	S	0,4	6	60	4,023	0,278
60	0,25	40	T	0,4	6	90	4,539	0,247
61	0,25	60	T	0,4	9	75	4,432	0,331
62	0,15	60	T	0,8	3	75	2,025	0,269
63	0,15	40	T	0,8	6	90	1,961	0,204
64	0,15	40	S	0,8	3	60	2,004	0,141
65	0,15	40	T	0,4	9	75	2,928	0,227
66	0,25	60	S	1,2	9	75	2,541	0,253
67	0,15	40	T	0,8	3	90	2,305	0,194
68	0,15	40	S	0,8	6	60	1,660	0,151
69	0,25	40	T	0,8	6	75	3,615	0,214
70	0,25	60	T	0,4	3	75	4,603	0,311
71	0,25	40	S	0,8	9	75	3,615	0,191
72	0,25	40	S	0,4	9	60	4,410	0,203
73	0,25	40	S	0,4	6	60	4,238	0,193
74	0,15	60	T	1,2	9	90	1,059	0,277
75	0,25	40	T	0,8	3	60	3,894	0,194
76	0,25	40	S	0,8	6	60	3,379	0,171

77	0,15	40	S	0,8	3	75	2,068	0,151
78	0,15	40	T	0,4	6	75	2,756	0,217
79	0,25	60	T	1,2	9	75	2,713	0,287
80	0,15	40	S	0,4	3	75	2,928	0,173
81	0,15	40	T	0,4	6	60	2,691	0,207
82	0,15	60	T	1,2	3	75	1,166	0,247
83	0,25	40	S	0,4	3	60	4,582	0,183
84	0,25	40	T	0,4	3	60	4,754	0,217
85	0,15	60	S	0,8	3	75	1,853	0,236
86	0,25	60	T	1,2	6	60	2,477	0,267
87	0,15	60	S	0,4	9	60	2,477	0,268
88	0,15	60	S	0,8	6	90	1,574	0,256
89	0,15	40	T	0,4	9	60	2,863	0,217
90	0,25	40	T	0,4	3	90	4,883	0,237
91	0,15	60	S	1,2	3	90	1,059	0,223
92	0,25	40	T	1,2	3	90	3,164	0,192
93	0,15	40	S	1,2	6	60	0,801	0,129
94	0,15	40	T	1,2	3	75	1,381	0,162
95	0,25	40	T	1,2	6	60	2,691	0,182
96	0,25	40	T	0,8	6	90	3,680	0,224
97	0,15	60	T	0,8	9	90	1,918	0,299
98	0,25	60	T	1,2	6	90	2,606	0,287
99	0,25	40	S	0,8	3	60	3,723	0,161
100	0,15	60	S	1,2	6	90	0,715	0,233
101	0,15	60	T	0,8	6	60	1,617	0,269
102	0,25	60	S	1,2	3	75	2,713	0,233
103	0,15	40	T	0,8	9	75	2,068	0,204
104	0,15	40	S	0,8	6	90	1,789	0,171
105	0,25	60	T	0,8	9	60	3,508	0,299
106	0,25	40	T	0,4	9	90	4,711	0,257
107	0,15	60	T	1,2	9	60	0,930	0,257
108	0,15	40	T	1,2	9	60	1,145	0,172
109	0,15	40	T	0,4	9	90	2,992	0,237
110	0,15	40	T	1,2	6	60	0,973	0,162
111	0,25	40	T	0,4	6	60	4,410	0,227
112	0,15	40	T	1,2	6	75	1,037	0,172
113	0,25	40	T	0,8	3	75	3,959	0,204
114	0,25	40	S	1,2	6	60	2,520	0,149
115	0,25	60	S	0,4	3	75	4,432	0,278
116	0,25	60	S	0,4	6	90	4,152	0,298
117	0,25	60	S	0,8	9	60	3,336	0,266
118	0,25	40	S	0,4	9	90	4,539	0,223
119	0,15	40	S	0,4	9	60	2,691	0,183

120	0,15	60	S	1,2	3	75	0,994	0,213
121	0,15	60	T	0,4	6	90	2,605	0,311
122	0,25	40	T	1,2	9	90	2,992	0,212
123	0,15	60	S	0,8	9	75	1,682	0,256
124	0,25	40	T	1,2	9	75	2,928	0,202
125	0,15	60	S	0,4	6	75	2,369	0,268
126	0,25	60	T	0,8	6	60	3,336	0,289
127	0,25	40	S	1,2	6	90	2,648	0,169
128	0,25	60	T	0,4	3	90	4,668	0,321
129	0,25	60	S	1,2	6	90	2,434	0,253
130	0,15	40	S	1,2	9	60	0,973	0,139
131	0,15	40	S	0,4	6	90	2,648	0,193
132	0,25	40	S	1,2	3	90	2,992	0,159
133	0,25	40	T	0,4	3	75	4,818	0,227
134	0,15	40	T	0,4	3	60	3,035	0,197
135	0,15	40	T	1,2	9	75	1,209	0,182
136	0,25	40	S	0,8	3	75	3,787	0,171
137	0,25	60	T	0,4	6	75	4,260	0,321
138	0,25	40	T	0,8	9	90	3,852	0,234
139	0,15	60	T	1,2	6	75	0,822	0,257
140	0,15	40	S	0,4	3	90	2,992	0,183
141	0,25	60	T	0,8	3	75	3,744	0,289
142	0,25	60	T	1,2	3	60	2,820	0,257
143	0,15	60	S	0,8	6	60	1,445	0,236
144	0,25	60	S	0,4	6	75	4,088	0,288
145	0,15	40	S	0,4	9	90	2,820	0,203
146	0,15	40	T	1,2	3	60	1,316	0,152
147	0,15	40	S	0,4	9	75	2,756	0,193
148	0,15	40	S	0,4	6	75	2,584	0,183
149	0,15	40	S	0,4	3	60	2,863	0,163
150	0,25	60	T	1,2	9	60	2,648	0,277
151	0,25	60	S	1,2	9	90	2,605	0,263
152	0,15	40	T	1,2	3	90	1,445	0,172
153	0,15	60	T	1,2	3	60	1,102	0,237
154	0,15	60	T	1,2	6	60	0,758	0,247
155	0,25	60	S	1,2	3	60	2,648	0,223
156	0,25	60	S	0,8	3	75	3,572	0,256
157	0,25	40	S	0,4	9	75	4,475	0,213
158	0,25	60	S	0,4	9	90	4,324	0,308
159	0,15	40	S	1,2	9	75	1,037	0,149
160	0,25	40	S	0,8	3	90	3,851	0,181
161	0,25	60	T	0,8	9	75	3,572	0,309
162	0,25	40	S	1,2	3	75	2,928	0,149

163	0,15	40	T	1,2	9	90	1,273	0,192
164	0,25	40	T	0,4	9	60	4,582	0,237
165	0,15	40	S	0,8	6	75	1,725	0,161
166	0,25	40	S	1,2	3	60	2,863	0,139
167	0,25	60	T	0,4	6	60	4,195	0,311
168	0,25	60	S	0,4	3	60	4,367	0,268
169	0,15	60	S	0,8	3	60	1,789	0,226
170	0,25	60	S	0,4	3	90	4,496	0,288
171	0,15	60	T	0,4	9	90	2,777	0,321
172	0,15	60	S	0,8	6	75	1,510	0,246
173	0,25	60	S	0,8	3	90	3,637	0,266
174	0,15	60	T	0,8	6	90	1,746	0,289
175	0,15	60	T	0,8	3	60	1,961	0,259
176	0,15	40	T	0,4	3	75	3,100	0,207
177	0,15	60	S	0,4	3	60	2,648	0,248
178	0,15	40	S	0,8	3	90	2,133	0,161
179	0,25	40	S	1,2	6	75	2,584	0,159
180	0,25	40	T	1,2	6	90	2,820	0,202
181	0,15	60	S	1,2	6	75	0,650	0,223
182	0,15	60	S	0,4	9	75	2,541	0,278
183	0,25	60	T	0,4	9	60	4,367	0,321
184	0,15	60	S	0,8	9	60	1,617	0,246
185	0,25	60	S	0,8	6	60	3,164	0,256
186	0,15	40	T	0,4	3	90	3,164	0,217
187	0,25	60	T	1,2	3	75	2,885	0,267
188	0,15	60	T	0,4	3	60	2,820	0,281
189	0,25	40	T	0,8	3	90	4,023	0,214
190	0,15	40	T	0,8	9	60	2,004	0,194
191	0,15	60	S	0,8	3	90	1,918	0,246
192	0,15	60	S	1,2	3	60	0,930	0,203
193	0,25	40	S	0,8	6	75	3,443	0,181
194	0,15	60	T	0,8	6	75	1,682	0,279
195	0,15	60	T	0,8	3	90	2,090	0,279
196	0,15	60	S	1,2	9	75	0,822	0,233
197	0,25	60	S	1,2	3	90	2,777	0,243
198	0,15	60	S	0,4	6	60	2,305	0,258
199	0,25	40	S	1,2	9	90	2,820	0,179
200	0,15	40	S	0,8	9	60	1,832	0,161
201	0,25	60	S	1,2	9	60	2,477	0,243
202	0,15	40	S	0,8	9	75	1,896	0,171
203	0,25	40	S	1,2	9	60	2,691	0,159
204	0,15	60	T	0,4	6	60	2,477	0,291
205	0,25	40	T	0,8	9	60	3,723	0,214

206	0,25	60	T	0,4	3	60	4,539	0,301
207	0,15	60	T	0,8	9	75	1,854	0,289
208	0,15	60	S	0,4	9	90	2,605	0,288
209	0,15	60	S	1,2	6	60	0,586	0,213
210	0,15	40	S	1,2	3	90	1,273	0,139
211	0,25	60	T	0,8	9	90	3,637	0,319
212	0,15	40	S	0,8	9	90	1,961	0,181
213	0,25	40	S	0,8	6	90	3,508	0,191
214	0,15	60	T	0,8	9	60	1,789	0,279
215	0,15	60	S	0,4	6	90	2,434	0,278
216	0,15	60	T	1,2	6	90	0,887	0,267
Минимална вредност							0,586	0,119
Максимална вредност							4,883	0,341
Средња аритметичка вредност							2,734	0,230

Табела 6.5. Резултати предикције за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање за *Bayesian Regularization* алгоритам.

Р. бр.	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra (μm)	VB (mm)
1	0,15	60	T	1,2	3	90	1,241	0,234
2	0,25	40	T	0,4	9	75	4,630	0,230
3	0,25	60	T	0,8	3	60	3,667	0,263
4	0,25	60	T	1,2	6	75	2,551	0,264
5	0,15	40	T	0,8	6	60	1,814	0,180
6	0,15	40	S	1,2	6	90	0,924	0,166
7	0,15	40	T	0,8	9	90	2,149	0,198
8	0,15	40	T	0,8	3	60	2,159	0,161
9	0,25	60	S	0,8	3	60	3,481	0,258
10	0,25	40	S	0,8	9	90	3,702	0,220
11	0,15	40	S	1,2	3	60	1,160	0,137
12	0,15	60	T	0,4	9	75	2,681	0,298
13	0,25	60	T	0,8	3	90	3,811	0,270
14	0,25	60	S	1,2	6	75	2,384	0,260
15	0,15	40	S	1,2	6	75	0,868	0,159
16	0,15	40	T	0,4	6	90	2,842	0,208
17	0,25	40	S	0,4	6	90	4,390	0,226
18	0,25	40	S	0,4	3	75	4,652	0,198
19	0,25	40	T	1,2	6	75	2,755	0,185
20	0,25	60	S	0,4	9	60	4,187	0,306
21	0,15	60	T	1,2	9	75	0,988	0,256
22	0,25	60	S	0,4	9	75	4,253	0,311
23	0,25	40	T	0,4	6	75	4,489	0,221
24	0,25	60	T	0,4	9	90	4,469	0,318
25	0,25	60	T	1,2	9	90	2,785	0,272

26	0,15	60	T	0,4	3	75	2,889	0,269
27	0,25	60	T	0,8	6	90	3,468	0,289
28	0,15	40	S	1,2	9	90	1,106	0,175
29	0,15	60	S	0,8	9	90	1,752	0,278
30	0,25	40	S	0,8	9	60	3,562	0,200
31	0,15	40	S	1,2	3	75	1,218	0,140
32	0,15	60	S	0,4	3	75	2,712	0,263
33	0,25	60	S	0,8	9	90	3,473	0,292
34	0,25	40	S	1,2	9	75	2,755	0,189
35	0,25	60	S	1,2	6	60	2,321	0,257
36	0,25	40	S	0,4	3	90	4,716	0,205
37	0,25	60	S	0,8	6	90	3,281	0,284
38	0,25	60	T	0,8	6	75	3,393	0,286
39	0,15	60	S	0,4	3	90	2,777	0,272
40	0,25	40	T	1,2	3	75	3,086	0,166
41	0,25	40	T	0,8	9	75	3,807	0,211
42	0,15	40	T	0,8	6	75	1,888	0,183
43	0,15	40	S	0,4	6	60	2,532	0,200
44	0,25	40	T	1,2	9	60	2,867	0,182
45	0,25	40	T	0,8	6	60	3,545	0,195
46	0,25	60	T	1,2	3	90	2,955	0,249
47	0,25	60	S	0,8	6	75	3,207	0,281
48	0,25	60	S	0,8	9	75	3,395	0,289
49	0,15	40	T	0,8	3	75	2,232	0,164
50	0,15	60	S	1,2	9	90	0,897	0,255
51	0,15	40	T	1,2	6	90	1,094	0,171
52	0,15	60	S	1,2	9	60	0,770	0,246
53	0,25	40	S	0,4	6	75	4,323	0,218
54	0,25	40	T	1,2	3	60	3,031	0,157
55	0,15	60	T	0,4	3	90	2,953	0,277
56	0,15	60	T	0,4	9	60	2,624	0,286
57	0,25	60	T	0,4	6	90	4,336	0,311
58	0,15	60	T	0,4	6	75	2,554	0,289
59	0,25	60	S	0,4	6	60	4,029	0,297
60	0,25	40	T	0,4	6	90	4,550	0,230
61	0,25	60	T	0,4	9	75	4,402	0,315
62	0,15	60	T	0,8	3	75	2,012	0,250
63	0,15	40	T	0,8	6	90	1,959	0,189
64	0,15	40	S	0,8	3	60	1,972	0,157
65	0,15	40	T	0,4	9	75	2,904	0,213
66	0,25	60	S	1,2	9	75	2,541	0,266
67	0,15	40	T	0,8	3	90	2,303	0,169
68	0,15	40	S	0,8	6	60	1,628	0,177

69	0,25	40	T	0,8	6	75	3,614	0,202
70	0,25	60	T	0,4	3	75	4,614	0,289
71	0,25	40	S	0,8	9	75	3,636	0,207
72	0,25	40	S	0,4	9	60	4,413	0,222
73	0,25	40	S	0,4	6	60	4,253	0,214
74	0,15	60	T	1,2	9	90	1,056	0,259
75	0,25	40	T	0,8	3	60	3,884	0,176
76	0,25	40	S	0,8	6	60	3,357	0,192
77	0,15	40	S	0,8	3	75	2,042	0,160
78	0,15	40	T	0,4	6	75	2,774	0,205
79	0,25	60	T	1,2	9	75	2,713	0,270
80	0,15	40	S	0,4	3	75	2,922	0,183
81	0,15	40	T	0,4	6	60	2,704	0,202
82	0,15	60	T	1,2	3	75	1,180	0,231
83	0,25	40	S	0,4	3	60	4,584	0,194
84	0,25	40	T	0,4	3	60	4,761	0,198
85	0,15	60	S	0,8	3	75	1,830	0,245
86	0,25	60	T	1,2	6	60	2,486	0,261
87	0,15	60	S	0,4	9	60	2,486	0,279
88	0,15	60	S	0,8	6	90	1,556	0,270
89	0,15	40	T	0,4	9	60	2,840	0,210
90	0,25	40	T	0,4	3	90	4,890	0,210
91	0,15	60	S	1,2	3	90	1,079	0,231
92	0,25	40	T	1,2	3	90	3,132	0,183
93	0,15	40	S	1,2	6	60	0,809	0,155
94	0,15	40	T	1,2	3	75	1,383	0,144
95	0,25	40	T	1,2	6	60	2,698	0,175
96	0,25	40	T	0,8	6	90	3,675	0,216
97	0,15	60	T	0,8	9	90	1,914	0,282
98	0,25	60	T	1,2	6	90	2,618	0,266
99	0,25	40	S	0,8	3	60	3,698	0,172
100	0,15	60	S	1,2	6	90	0,728	0,248
101	0,15	60	T	0,8	6	60	1,599	0,261
102	0,25	60	S	1,2	3	75	2,726	0,243
103	0,15	40	T	0,8	9	75	2,078	0,192
104	0,15	40	S	0,8	6	90	1,772	0,185
105	0,25	60	T	0,8	9	60	3,493	0,290
106	0,25	40	T	0,4	9	90	4,683	0,239
107	0,15	60	T	1,2	9	60	0,923	0,251
108	0,15	40	T	1,2	9	60	1,140	0,165
109	0,15	40	T	0,4	9	90	2,963	0,217
110	0,15	40	T	1,2	6	60	0,971	0,158
111	0,25	40	T	0,4	6	60	4,422	0,217

112	0,15	40	T	1,2	6	75	1,035	0,162
113	0,25	40	T	0,8	3	75	3,953	0,182
114	0,25	40	S	1,2	6	60	2,531	0,171
115	0,25	60	S	0,4	3	75	4,436	0,284
116	0,25	60	S	0,4	6	90	4,169	0,307
117	0,25	60	S	0,8	9	60	3,318	0,285
118	0,25	40	S	0,4	9	90	4,536	0,234
119	0,15	40	S	0,4	9	60	2,687	0,208
120	0,15	60	S	1,2	3	75	1,022	0,227
121	0,15	60	T	0,4	6	90	2,619	0,295
122	0,25	40	T	1,2	9	90	2,977	0,215
123	0,15	60	S	0,8	9	75	1,679	0,273
124	0,25	40	T	1,2	9	75	2,928	0,194
125	0,15	60	S	0,4	6	75	2,388	0,283
126	0,25	60	T	0,8	6	60	3,320	0,282
127	0,25	40	S	1,2	6	90	2,632	0,197
128	0,25	60	T	0,4	3	90	4,682	0,292
129	0,25	60	S	1,2	6	90	2,449	0,262
130	0,15	40	S	1,2	9	60	0,977	0,162
131	0,15	40	S	0,4	6	90	2,677	0,206
132	0,25	40	S	1,2	3	90	2,966	0,176
133	0,25	40	T	0,4	3	75	4,828	0,202
134	0,15	40	T	0,4	3	60	3,033	0,184
135	0,15	40	T	1,2	9	75	1,207	0,170
136	0,25	40	S	0,8	3	75	3,766	0,177
137	0,25	60	T	0,4	6	75	4,268	0,308
138	0,25	40	T	0,8	9	90	3,868	0,227
139	0,15	60	T	1,2	6	75	0,825	0,249
140	0,15	40	S	0,4	3	90	2,991	0,187
141	0,25	60	T	0,8	3	75	3,738	0,267
142	0,25	60	T	1,2	3	60	2,830	0,244
143	0,15	60	S	0,8	6	60	1,422	0,254
144	0,25	60	S	0,4	6	75	4,098	0,303
145	0,15	40	S	0,4	9	90	2,816	0,214
146	0,15	40	T	1,2	3	60	1,322	0,140
147	0,15	40	S	0,4	9	75	2,753	0,210
148	0,15	40	S	0,4	6	75	2,605	0,202
149	0,15	40	S	0,4	3	60	2,851	0,180
150	0,25	60	T	1,2	9	60	2,643	0,268
151	0,25	60	S	1,2	9	90	2,611	0,268
152	0,15	40	T	1,2	3	90	1,441	0,151
153	0,15	60	T	1,2	3	60	1,124	0,225
154	0,15	60	T	1,2	6	60	0,765	0,244

155	0,25	60	S	1,2	3	60	2,667	0,240
156	0,25	60	S	0,8	3	75	3,551	0,262
157	0,25	40	S	0,4	9	75	4,478	0,226
158	0,25	60	S	0,4	9	90	4,320	0,315
159	0,15	40	S	1,2	9	75	1,043	0,167
160	0,25	40	S	0,8	3	90	3,829	0,187
161	0,25	60	T	0,8	9	75	3,569	0,294
162	0,25	40	S	1,2	3	75	2,920	0,160
163	0,15	40	T	1,2	9	90	1,269	0,180
164	0,25	40	T	0,4	9	60	4,570	0,224
165	0,15	40	S	0,8	6	75	1,700	0,180
166	0,25	40	S	1,2	3	60	2,866	0,153
167	0,25	60	T	0,4	6	60	4,202	0,302
168	0,25	60	S	0,4	3	60	4,369	0,277
169	0,15	60	S	0,8	3	60	1,770	0,233
170	0,25	60	S	0,4	3	90	4,507	0,288
171	0,15	60	T	0,4	9	90	2,744	0,303
172	0,15	60	S	0,8	6	75	1,486	0,264
173	0,25	60	S	0,8	3	90	3,624	0,265
174	0,15	60	T	0,8	6	90	1,737	0,274
175	0,15	60	T	0,8	3	60	1,948	0,240
176	0,15	40	T	0,4	3	75	3,104	0,186
177	0,15	60	S	0,4	3	60	2,658	0,246
178	0,15	40	S	0,8	3	90	2,111	0,165
179	0,25	40	S	1,2	6	75	2,586	0,180
180	0,25	40	T	1,2	6	90	2,802	0,204
181	0,15	60	S	1,2	6	75	0,668	0,245
182	0,15	60	S	0,4	9	75	2,540	0,293
183	0,25	60	T	0,4	9	60	4,336	0,310
184	0,15	60	S	0,8	9	60	1,610	0,264
185	0,25	60	S	0,8	6	60	3,134	0,277
186	0,15	40	T	0,4	3	90	3,173	0,190
187	0,25	60	T	1,2	3	75	2,892	0,247
188	0,15	60	T	0,4	3	60	2,832	0,255
189	0,25	40	T	0,8	3	90	4,015	0,194
190	0,15	40	T	0,8	9	60	2,003	0,188
191	0,15	60	S	0,8	3	90	1,898	0,250
192	0,15	60	S	1,2	3	60	0,971	0,221
193	0,25	40	S	0,8	6	75	3,427	0,198
194	0,15	60	T	0,8	6	75	1,665	0,270
195	0,15	60	T	0,8	3	90	2,082	0,255
196	0,15	60	S	1,2	9	75	0,831	0,251
197	0,25	60	S	1,2	3	90	2,787	0,245

198	0,15	60	S	0,4	6	60	2,331	0,268
199	0,25	40	S	1,2	9	90	2,807	0,208
200	0,15	40	S	0,8	9	60	1,836	0,185
201	0,25	60	S	1,2	9	60	2,472	0,263
202	0,15	40	S	0,8	9	75	1,912	0,188
203	0,25	40	S	1,2	9	60	2,694	0,179
204	0,15	60	T	0,4	6	60	2,497	0,276
205	0,25	40	T	0,8	9	60	3,737	0,203
206	0,25	60	T	0,4	3	60	4,548	0,283
207	0,15	60	T	0,8	9	75	1,839	0,278
208	0,15	60	S	0,4	9	90	2,601	0,300
209	0,15	60	S	1,2	6	60	0,612	0,239
210	0,15	40	S	1,2	3	90	1,273	0,147
211	0,25	60	T	0,8	9	90	3,646	0,296
212	0,15	40	S	0,8	9	90	1,986	0,194
213	0,25	40	S	0,8	6	90	3,490	0,210
214	0,15	60	T	0,8	9	60	1,770	0,270
215	0,15	60	S	0,4	6	90	2,454	0,291
216	0,15	60	T	1,2	6	90	0,889	0,252
Минимална вредност							0,612	0,137
Максимална вредност							4,890	0,318
Средња аритметичка вредност							2,733	0,230

Табела 6.6. Резултати предикције за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање за *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритам.

Р. бр.	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra		VB	
							PE (%)	AE (μ m)	PE (%)	AE (mm)
1	0,15	60	T	1,2	3	90	0,05069	0,00062	0,07748	0,00020
2	0,25	40	T	0,4	9	75	0,01159	0,00054	0,15317	0,00038
3	0,25	60	T	0,8	3	60	0,00618	0,00023	0,02965	0,00008
4	0,25	60	T	1,2	6	75	0,00125	0,00003	0,08687	0,00024
5	0,15	40	T	0,8	6	60	0,00490	0,00009	0,17218	0,00032
6	0,15	40	S	1,2	6	90	0,04128	0,00038	0,20882	0,00031
7	0,15	40	T	0,8	9	90	0,01388	0,00030	0,16974	0,00036
8	0,15	40	T	0,8	3	60	0,01870	0,00041	0,35106	0,00061
9	0,25	60	S	0,8	3	60	0,00228	0,00008	0,11854	0,00029
10	0,25	40	S	0,8	9	90	0,00883	0,00033	0,00174	0,00000
11	0,15	40	S	1,2	3	60	0,00126	0,00001	0,13828	0,00016
12	0,15	60	T	0,4	9	75	0,00358	0,00010	0,09757	0,00030
13	0,25	60	T	0,8	3	90	0,00743	0,00028	0,01902	0,00006
14	0,25	60	S	1,2	6	75	0,00490	0,00012	0,15815	0,00038
15	0,15	40	S	1,2	6	75	0,03445	0,00030	0,20597	0,00029
16	0,15	40	T	0,4	6	90	0,00477	0,00013	0,20450	0,00046

17	0,25	40	S	0,4	6	90	0,00036	0,00002	0,08359	0,00018
18	0,25	40	S	0,4	3	75	0,00950	0,00044	0,13461	0,00026
19	0,25	40	T	1,2	6	75	0,00844	0,00023	0,02957	0,00006
20	0,25	60	S	0,4	9	60	0,00679	0,00028	0,01353	0,00004
21	0,15	60	T	1,2	9	75	0,02713	0,00027	0,06562	0,00018
22	0,25	60	S	0,4	9	75	0,00663	0,00028	0,01714	0,00005
23	0,25	40	T	0,4	6	75	0,00781	0,00035	0,18862	0,00045
24	0,25	60	T	0,4	9	90	0,00552	0,00025	0,08100	0,00028
25	0,25	60	T	1,2	9	90	0,01060	0,00029	0,05979	0,00018
26	0,15	60	T	0,4	3	75	0,00630	0,00018	0,10362	0,00030
27	0,25	60	T	0,8	6	90	0,00445	0,00015	0,00396	0,00001
28	0,15	40	S	1,2	9	90	0,04780	0,00053	0,15328	0,00024
29	0,15	60	S	0,8	9	90	0,00013	0,00000	0,12066	0,00032
30	0,25	40	S	0,8	9	60	0,00376	0,00013	0,01801	0,00003
31	0,15	40	S	1,2	3	75	0,02083	0,00025	0,15648	0,00020
32	0,15	60	S	0,4	3	75	0,00096	0,00003	0,02917	0,00008
33	0,25	60	S	0,8	9	90	0,00193	0,00007	0,10728	0,00031
34	0,25	40	S	1,2	9	75	0,00647	0,00018	0,13464	0,00023
35	0,25	60	S	1,2	6	60	0,00927	0,00021	0,17267	0,00040
36	0,25	40	S	0,4	3	90	0,00098	0,00005	0,12122	0,00025
37	0,25	60	S	0,8	6	90	0,00030	0,00001	0,13929	0,00038
38	0,25	60	T	0,8	6	75	0,01450	0,00049	0,00140	0,00000
39	0,15	60	S	0,4	3	90	0,01628	0,00045	0,03251	0,00009
40	0,25	40	T	1,2	3	75	0,01660	0,00051	0,06882	0,00013
41	0,25	40	T	0,8	9	75	0,00726	0,00028	0,16988	0,00038
42	0,15	40	T	0,8	6	75	0,01770	0,00034	0,15649	0,00030
43	0,15	40	S	0,4	6	60	0,02412	0,00061	0,11836	0,00020
44	0,25	40	T	1,2	9	60	0,01205	0,00035	0,07533	0,00014
45	0,25	40	T	0,8	6	60	0,00288	0,00010	0,15713	0,00032
46	0,25	60	T	1,2	3	90	0,00478	0,00014	0,06781	0,00019
47	0,25	60	S	0,8	6	75	0,01294	0,00042	0,14010	0,00037
48	0,25	60	S	0,8	9	75	0,01538	0,00052	0,10694	0,00030
49	0,15	40	T	0,8	3	75	0,00416	0,00009	0,20193	0,00037
50	0,15	60	S	1,2	9	90	0,03709	0,00033	0,17867	0,00043
51	0,15	40	T	1,2	6	90	0,02953	0,00033	0,02361	0,00004
52	0,15	60	S	1,2	9	60	0,01064	0,00008	0,20904	0,00047
53	0,25	40	S	0,4	6	75	0,00986	0,00042	0,09413	0,00019
54	0,25	40	T	1,2	3	60	0,00077	0,00002	0,08210	0,00014
55	0,15	60	T	0,4	3	90	0,00853	0,00025	0,09482	0,00029
56	0,15	60	T	0,4	9	60	0,02227	0,00059	0,10727	0,00032
57	0,25	60	T	0,4	6	90	0,00034	0,00001	0,06512	0,00022
58	0,15	60	T	0,4	6	75	0,00084	0,00002	0,07740	0,00023
59	0,25	60	S	0,4	6	60	0,00955	0,00038	0,04186	0,00012

60	0,25	40	T	0,4	6	90	0,00033	0,00001	0,18879	0,00047
61	0,25	60	T	0,4	9	75	0,01088	0,00048	0,09232	0,00031
62	0,15	60	T	0,8	3	75	0,01589	0,00032	0,02117	0,00006
63	0,15	40	T	0,8	6	90	0,01220	0,00024	0,14228	0,00029
64	0,15	40	S	0,8	3	60	0,00784	0,00016	0,03294	0,00005
65	0,15	40	T	0,4	9	75	0,00995	0,00029	0,16568	0,00038
66	0,25	60	S	1,2	9	75	0,00179	0,00005	0,18150	0,00046
67	0,15	40	T	0,8	3	90	0,01711	0,00039	0,18475	0,00036
68	0,15	40	S	0,8	6	60	0,00104	0,00002	0,02229	0,00003
69	0,25	40	T	0,8	6	75	0,00858	0,00031	0,14355	0,00031
70	0,25	60	T	0,4	3	75	0,00849	0,00039	0,10008	0,00031
71	0,25	40	S	0,8	9	75	0,00725	0,00026	0,00900	0,00002
72	0,25	40	S	0,4	9	60	0,00153	0,00007	0,13712	0,00028
73	0,25	40	S	0,4	6	60	0,00335	0,00014	0,10616	0,00020
74	0,15	60	T	1,2	9	90	0,02869	0,00030	0,06766	0,00019
75	0,25	40	T	0,8	3	60	0,01102	0,00043	0,20021	0,00039
76	0,25	40	S	0,8	6	60	0,00155	0,00005	0,02176	0,00004
77	0,15	40	S	0,8	3	75	0,00996	0,00021	0,01344	0,00002
78	0,15	40	T	0,4	6	75	0,00876	0,00024	0,20631	0,00045
79	0,25	60	T	1,2	9	75	0,00279	0,00008	0,05694	0,00016
80	0,15	40	S	0,4	3	75	0,01380	0,00040	0,14972	0,00026
81	0,15	40	T	0,4	6	60	0,01335	0,00036	0,20937	0,00043
82	0,15	60	T	1,2	3	75	0,00867	0,00010	0,07590	0,00019
83	0,25	40	S	0,4	3	60	0,00114	0,00005	0,15049	0,00028
84	0,25	40	T	0,4	3	60	0,00009	0,00000	0,16692	0,00036
85	0,15	60	S	0,8	3	75	0,02972	0,00055	0,13479	0,00032
86	0,25	60	T	1,2	6	60	0,01733	0,00043	0,08574	0,00023
87	0,15	60	S	0,4	9	60	0,00980	0,00024	0,01883	0,00005
88	0,15	60	S	0,8	6	90	0,00341	0,00005	0,15571	0,00040
89	0,15	40	T	0,4	9	60	0,01162	0,00033	0,16579	0,00036
90	0,25	40	T	0,4	3	90	0,00048	0,00002	0,16560	0,00039
91	0,15	60	S	1,2	3	90	0,03062	0,00032	0,19256	0,00043
92	0,25	40	T	1,2	3	90	0,00098	0,00003	0,05794	0,00011
93	0,15	40	S	1,2	6	60	0,00579	0,00005	0,19808	0,00026
94	0,15	40	T	1,2	3	75	0,00092	0,00001	0,07847	0,00013
95	0,25	40	T	1,2	6	60	0,01368	0,00037	0,03896	0,00007
96	0,25	40	T	0,8	6	90	0,00791	0,00029	0,13064	0,00029
97	0,15	60	T	0,8	9	90	0,00730	0,00014	0,01703	0,00005
98	0,25	60	T	1,2	6	90	0,01374	0,00036	0,08816	0,00025
99	0,25	40	S	0,8	3	60	0,00690	0,00026	0,02406	0,00004
100	0,15	60	S	1,2	6	90	0,03048	0,00022	0,15419	0,00036
101	0,15	60	T	0,8	6	60	0,01099	0,00018	0,00146	0,00000
102	0,25	60	S	1,2	3	75	0,00365	0,00010	0,19509	0,00045

103	0,15	40	T	0,8	9	75	0,01426	0,00029	0,18521	0,00038
104	0,15	40	S	0,8	6	90	0,01571	0,00028	0,04259	0,00007
105	0,25	60	T	0,8	9	60	0,00111	0,00004	0,03135	0,00009
106	0,25	40	T	0,4	9	90	0,00296	0,00014	0,15630	0,00040
107	0,15	60	T	1,2	9	60	0,01754	0,00016	0,06372	0,00016
108	0,15	40	T	1,2	9	60	0,02672	0,00031	0,08360	0,00014
109	0,15	40	T	0,4	9	90	0,00165	0,00005	0,16698	0,00040
110	0,15	40	T	1,2	6	60	0,02082	0,00020	0,04452	0,00007
111	0,25	40	T	0,4	6	60	0,00565	0,00025	0,18987	0,00043
112	0,15	40	T	1,2	6	75	0,02164	0,00022	0,03290	0,00006
113	0,25	40	T	0,8	3	75	0,00165	0,00007	0,18387	0,00038
114	0,25	40	S	1,2	6	60	0,01418	0,00036	0,18058	0,00027
115	0,25	60	S	0,4	3	75	0,00738	0,00033	0,02264	0,00006
116	0,25	60	S	0,4	6	90	0,00597	0,00025	0,04699	0,00014
117	0,25	60	S	0,8	9	60	0,00337	0,00011	0,10653	0,00028
118	0,25	40	S	0,4	9	90	0,00108	0,00005	0,11299	0,00025
119	0,15	40	S	0,4	9	60	0,01309	0,00035	0,15137	0,00028
120	0,15	60	S	1,2	3	75	0,02693	0,00027	0,21159	0,00045
121	0,15	60	T	0,4	6	90	0,01277	0,00033	0,06858	0,00021
122	0,25	40	T	1,2	9	90	0,00528	0,00016	0,05556	0,00012
123	0,15	60	S	0,8	9	75	0,02381	0,00040	0,12078	0,00031
124	0,25	40	T	1,2	9	75	0,00844	0,00025	0,06502	0,00013
125	0,15	60	S	0,4	6	75	0,00810	0,00019	0,05223	0,00014
126	0,25	60	T	0,8	6	60	0,00327	0,00011	0,00616	0,00002
127	0,25	40	S	1,2	6	90	0,00910	0,00024	0,18684	0,00032
128	0,25	60	T	0,4	3	90	0,00065	0,00003	0,09095	0,00029
129	0,25	60	S	1,2	6	90	0,02132	0,00052	0,14608	0,00037
130	0,15	40	S	1,2	9	60	0,02030	0,00020	0,14246	0,00020
131	0,15	40	S	0,4	6	90	0,00671	0,00018	0,09079	0,00018
132	0,25	40	S	1,2	3	90	0,00461	0,00014	0,15159	0,00024
133	0,25	40	T	0,4	3	75	0,01035	0,00050	0,16576	0,00038
134	0,15	40	T	0,4	3	60	0,00158	0,00005	0,18558	0,00037
135	0,15	40	T	1,2	9	75	0,01130	0,00014	0,07145	0,00013
136	0,25	40	S	0,8	3	75	0,00394	0,00015	0,00992	0,00002
137	0,25	60	T	0,4	6	75	0,00650	0,00028	0,07457	0,00024
138	0,25	40	T	0,8	9	90	0,00907	0,00035	0,15547	0,00036
139	0,15	60	T	1,2	6	75	0,04412	0,00036	0,09830	0,00025
140	0,15	40	S	0,4	3	90	0,00214	0,00006	0,13307	0,00024
141	0,25	60	T	0,8	3	75	0,00679	0,00025	0,02444	0,00007
142	0,25	60	T	1,2	3	60	0,00655	0,00018	0,06386	0,00016
143	0,15	60	S	0,8	6	60	0,02027	0,00029	0,15707	0,00037
144	0,25	60	S	0,4	6	75	0,00436	0,00018	0,04437	0,00013
145	0,15	40	S	0,4	9	90	0,00573	0,00016	0,12306	0,00025

146	0,15	40	T	1,2	3	60	0,04028	0,00053	0,09569	0,00015
147	0,15	40	S	0,4	9	75	0,00896	0,00025	0,13630	0,00026
148	0,15	40	S	0,4	6	75	0,00872	0,00023	0,10333	0,00019
149	0,15	40	S	0,4	3	60	0,00559	0,00016	0,17020	0,00028
150	0,25	60	T	1,2	9	60	0,02016	0,00053	0,05455	0,00015
151	0,25	60	S	1,2	9	90	0,01659	0,00043	0,16977	0,00045
152	0,15	40	T	1,2	3	90	0,03674	0,00053	0,06501	0,00011
153	0,15	60	T	1,2	3	60	0,03660	0,00040	0,07359	0,00017
154	0,15	60	T	1,2	6	60	0,00928	0,00007	0,09752	0,00024
155	0,25	60	S	1,2	3	60	0,02017	0,00053	0,21376	0,00048
156	0,25	60	S	0,8	3	75	0,01042	0,00037	0,11986	0,00031
157	0,25	40	S	0,4	9	75	0,01091	0,00049	0,12457	0,00027
158	0,25	60	S	0,4	9	90	0,00294	0,00013	0,02115	0,00007
159	0,15	40	S	1,2	9	75	0,01067	0,00011	0,14985	0,00022
160	0,25	40	S	0,8	3	90	0,01046	0,00040	0,00049	0,00000
161	0,25	60	T	0,8	9	75	0,01110	0,00040	0,02511	0,00008
162	0,25	40	S	1,2	3	75	0,00756	0,00022	0,14472	0,00022
163	0,15	40	T	1,2	9	90	0,04636	0,00059	0,06098	0,00012
164	0,25	40	T	0,4	9	60	0,00365	0,00017	0,15162	0,00036
165	0,15	40	S	0,8	6	75	0,03789	0,00065	0,03427	0,00006
166	0,25	40	S	1,2	3	60	0,01692	0,00048	0,13256	0,00018
167	0,25	60	T	0,4	6	60	0,00898	0,00038	0,08307	0,00026
168	0,25	60	S	0,4	3	60	0,00365	0,00016	0,01910	0,00005
169	0,15	60	S	0,8	3	60	0,00179	0,00003	0,13267	0,00030
170	0,25	60	S	0,4	3	90	0,00417	0,00019	0,02583	0,00007
171	0,15	60	T	0,4	9	90	0,00588	0,00016	0,08696	0,00028
172	0,15	60	S	0,8	6	75	0,02249	0,00034	0,15683	0,00039
173	0,25	60	S	0,8	3	90	0,00416	0,00015	0,12019	0,00032
174	0,15	60	T	0,8	6	90	0,00175	0,00003	0,00763	0,00002
175	0,15	60	T	0,8	3	60	0,00885	0,00017	0,02645	0,00007
176	0,15	40	T	0,4	3	75	0,01479	0,00046	0,18304	0,00038
177	0,15	60	S	0,4	3	60	0,01929	0,00051	0,02501	0,00006
178	0,15	40	S	0,8	3	90	0,01761	0,00038	0,00055	0,00000
179	0,25	40	S	1,2	6	75	0,00327	0,00008	0,18544	0,00029
180	0,25	40	T	1,2	6	90	0,00625	0,00018	0,02154	0,00004
181	0,15	60	S	1,2	6	75	0,06408	0,00042	0,16887	0,00038
182	0,15	60	S	0,4	9	75	0,00606	0,00015	0,02236	0,00006
183	0,25	60	T	0,4	9	60	0,00498	0,00022	0,10249	0,00033
184	0,15	60	S	0,8	9	60	0,01301	0,00021	0,12043	0,00030
185	0,25	60	S	0,8	6	60	0,00590	0,00019	0,14050	0,00036
186	0,15	40	T	0,4	3	90	0,00076	0,00002	0,18124	0,00039
187	0,25	60	T	1,2	3	75	0,01176	0,00034	0,06598	0,00018
188	0,15	60	T	0,4	3	60	0,01263	0,00036	0,11209	0,00032

189	0,25	40	T	0,8	3	90	0,01387	0,00056	0,16902	0,00036
190	0,15	40	T	0,8	9	60	0,00632	0,00013	0,20163	0,00039
191	0,15	60	S	0,8	3	90	0,00500	0,00010	0,13535	0,00033
192	0,15	60	S	1,2	3	60	0,00849	0,00008	0,23518	0,00048
193	0,25	40	S	0,8	6	75	0,00908	0,00031	0,03055	0,00006
194	0,15	60	T	0,8	6	75	0,02483	0,00042	0,00294	0,00001
195	0,15	60	T	0,8	3	90	0,00900	0,00019	0,01605	0,00004
196	0,15	60	S	1,2	9	75	0,03366	0,00028	0,19251	0,00045
197	0,25	60	S	1,2	3	90	0,01136	0,00032	0,17976	0,00044
198	0,15	60	S	0,4	6	60	0,00879	0,00020	0,04961	0,00013
199	0,25	40	S	1,2	9	90	0,00655	0,00018	0,13687	0,00025
200	0,15	40	S	0,8	9	60	0,00528	0,00010	0,02044	0,00003
201	0,25	60	S	1,2	9	60	0,01284	0,00032	0,19510	0,00047
202	0,15	40	S	0,8	9	75	0,01424	0,00027	0,00878	0,00002
203	0,25	40	S	1,2	9	60	0,01856	0,00050	0,12977	0,00021
204	0,15	60	T	0,4	6	60	0,01335	0,00033	0,08554	0,00025
205	0,25	40	T	0,8	9	60	0,00340	0,00013	0,18456	0,00040
206	0,25	60	T	0,4	3	60	0,00321	0,00015	0,10857	0,00033
207	0,15	60	T	0,8	9	75	0,02672	0,00050	0,02334	0,00007
208	0,15	60	S	0,4	9	90	0,02077	0,00054	0,02596	0,00007
209	0,15	60	S	1,2	6	60	0,01709	0,00010	0,18697	0,00040
210	0,15	40	S	1,2	3	90	0,04687	0,00060	0,16700	0,00023
211	0,25	60	T	0,8	9	90	0,00796	0,00029	0,01804	0,00006
212	0,15	40	S	0,8	9	90	0,01695	0,00033	0,00006	0,00000
213	0,25	40	S	0,8	6	90	0,00834	0,00029	0,03694	0,00007
214	0,15	60	T	0,8	9	60	0,00668	0,00012	0,02910	0,00008
215	0,15	60	S	0,4	6	90	0,01689	0,00041	0,05457	0,00015
216	0,15	60	T	1,2	6	90	0,02238	0,00020	0,09890	0,00026
Минимална вредност							0,00009	0,00000	0,00006	0,00000
Максимална вредност							0,06408	0,00065	0,35106	0,00061
Средња аритметичка вредност							0,01186	0,00025	0,10417	0,00023

Табела 6.7. Процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање током обуке, валидације и тестирања за *Levenberg - Marquardt* алгоритам.

Р. бр.	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra		VB	
							PE (%)	AE (μ m)	PE (%)	AE (mm)
1	0,15	60	T	1,2	3	90	0,03689	0,00045	0,04493	0,00012
2	0,25	40	T	0,4	9	75	0,00771	0,00036	0,07536	0,00019
3	0,25	60	T	0,8	3	60	0,00468	0,00017	0,05277	0,00015
4	0,25	60	T	1,2	6	75	0,00586	0,00015	0,04269	0,00012
5	0,15	40	T	0,8	6	60	0,00171	0,00003	0,11883	0,00022
6	0,15	40	S	1,2	6	90	0,03517	0,00033	0,18605	0,00028
7	0,15	40	T	0,8	9	90	0,01172	0,00025	0,20675	0,00044

8	0,15	40	T	0,8	3	60	0,01042	0,00023	0,44385	0,00078
9	0,25	60	S	0,8	3	60	0,00179	0,00006	0,16177	0,00040
10	0,25	40	S	0,8	9	90	0,00629	0,00023	0,06233	0,00013
11	0,15	40	S	1,2	3	60	0,02493	0,00029	0,20959	0,00025
12	0,15	60	T	0,4	9	75	0,00773	0,00021	0,03757	0,00012
13	0,25	60	T	0,8	3	90	0,00917	0,00035	0,01544	0,00005
14	0,25	60	S	1,2	6	75	0,01070	0,00025	0,12116	0,00029
15	0,15	40	S	1,2	6	75	0,02910	0,00025	0,07113	0,00010
16	0,15	40	T	0,4	6	90	0,00618	0,00017	0,06233	0,00014
17	0,25	40	S	0,4	6	90	0,00503	0,00022	0,07681	0,00016
18	0,25	40	S	0,4	3	75	0,00689	0,00032	0,06350	0,00012
19	0,25	40	T	1,2	6	75	0,00809	0,00022	0,02469	0,00005
20	0,25	60	S	0,4	9	60	0,00820	0,00034	0,01443	0,00004
21	0,15	60	T	1,2	9	75	0,03112	0,00031	0,03595	0,00010
22	0,25	60	S	0,4	9	75	0,00499	0,00021	0,02491	0,00007
23	0,25	40	T	0,4	6	75	0,00574	0,00026	0,09763	0,00023
24	0,25	60	T	0,4	9	90	0,00128	0,00006	0,08083	0,00028
25	0,25	60	T	1,2	9	90	0,01124	0,00031	0,05188	0,00015
26	0,15	60	T	0,4	3	75	0,00751	0,00022	0,06515	0,00019
27	0,25	60	T	0,8	6	90	0,00671	0,00023	0,03104	0,00010
28	0,15	40	S	1,2	9	90	0,03670	0,00040	0,17741	0,00028
29	0,15	60	S	0,8	9	90	0,00917	0,00016	0,07667	0,00020
30	0,25	40	S	0,8	9	60	0,00312	0,00011	0,00350	0,00001
31	0,15	40	S	1,2	3	75	0,00640	0,00008	0,03084	0,00004
32	0,15	60	S	0,4	3	75	0,00344	0,00009	0,01944	0,00005
33	0,25	60	S	0,8	9	90	0,00566	0,00020	0,06718	0,00019
34	0,25	40	S	1,2	9	75	0,00761	0,00021	0,11317	0,00019
35	0,25	60	S	1,2	6	60	0,00864	0,00020	0,06686	0,00016
36	0,25	40	S	0,4	3	90	0,00496	0,00023	0,07930	0,00016
37	0,25	60	S	0,8	6	90	0,00160	0,00005	0,07941	0,00022
38	0,25	60	T	0,8	6	75	0,01052	0,00036	0,01808	0,00005
39	0,15	60	S	0,4	3	90	0,01283	0,00036	0,02591	0,00007
40	0,25	40	T	1,2	3	75	0,01039	0,00032	0,02222	0,00004
41	0,25	40	T	0,8	9	75	0,00826	0,00031	0,16420	0,00037
42	0,15	40	T	0,8	6	75	0,02511	0,00048	0,14988	0,00029
43	0,15	40	S	0,4	6	60	0,02360	0,00059	0,08071	0,00014
44	0,25	40	T	1,2	9	60	0,00906	0,00026	0,02333	0,00004
45	0,25	40	T	0,8	6	60	0,00857	0,00030	0,11617	0,00024
46	0,25	60	T	1,2	3	90	0,01219	0,00036	0,04748	0,00013
47	0,25	60	S	0,8	6	75	0,01536	0,00050	0,10705	0,00028
48	0,25	60	S	0,8	9	75	0,01009	0,00034	0,09026	0,00025
49	0,15	40	T	0,8	3	75	0,01042	0,00023	0,15604	0,00029
50	0,15	60	S	1,2	9	90	0,02446	0,00022	0,17131	0,00042

51	0,15	40	T	1,2	6	90	0,04105	0,00045	0,00359	0,00001
52	0,15	60	S	1,2	9	60	0,02041	0,00015	0,06839	0,00015
53	0,25	40	S	0,4	6	75	0,00545	0,00023	0,05687	0,00012
54	0,25	40	T	1,2	3	60	0,00810	0,00025	0,02684	0,00005
55	0,15	60	T	0,4	3	90	0,00634	0,00019	0,01400	0,00004
56	0,15	60	T	0,4	9	60	0,01458	0,00039	0,09762	0,00029
57	0,25	60	T	0,4	6	90	0,00276	0,00012	0,06881	0,00023
58	0,15	60	T	0,4	6	75	0,00036	0,00001	0,04622	0,00014
59	0,25	60	S	0,4	6	60	0,01061	0,00043	0,00343	0,00001
60	0,25	40	T	0,4	6	90	0,00458	0,00021	0,03518	0,00009
61	0,25	60	T	0,4	9	75	0,00959	0,00043	0,00861	0,00003
62	0,15	60	T	0,8	3	75	0,01241	0,00025	0,04324	0,00012
63	0,15	40	T	0,8	6	90	0,00380	0,00007	0,19579	0,00040
64	0,15	40	S	0,8	3	60	0,00355	0,00007	0,07787	0,00011
65	0,15	40	T	0,4	9	75	0,00988	0,00029	0,10366	0,00024
66	0,25	60	S	1,2	9	75	0,00164	0,00004	0,13360	0,00034
67	0,15	40	T	0,8	3	90	0,01305	0,00030	0,20092	0,00039
68	0,15	40	S	0,8	6	60	0,01233	0,00020	0,04005	0,00006
69	0,25	40	T	0,8	6	75	0,00428	0,00015	0,15133	0,00032
70	0,25	60	T	0,4	3	75	0,01206	0,00056	0,03661	0,00011
71	0,25	40	S	0,8	9	75	0,00896	0,00032	0,05263	0,00010
72	0,25	40	S	0,4	9	60	0,00390	0,00017	0,06730	0,00014
73	0,25	40	S	0,4	6	60	0,00753	0,00032	0,06317	0,00012
74	0,15	60	T	1,2	9	90	0,02391	0,00025	0,04476	0,00012
75	0,25	40	T	0,8	3	60	0,01397	0,00054	0,12254	0,00024
76	0,25	40	S	0,8	6	60	0,00561	0,00019	0,00113	0,00000
77	0,15	40	S	0,8	3	75	0,01709	0,00035	0,02886	0,00004
78	0,15	40	T	0,4	6	75	0,01007	0,00028	0,13001	0,00028
79	0,25	60	T	1,2	9	75	0,00423	0,00011	0,03555	0,00010
80	0,15	40	S	0,4	3	75	0,00932	0,00027	0,07259	0,00013
81	0,15	40	T	0,4	6	60	0,01019	0,00027	0,19527	0,00040
82	0,15	60	T	1,2	3	75	0,00709	0,00008	0,04488	0,00011
83	0,25	40	S	0,4	3	60	0,00253	0,00012	0,07705	0,00014
84	0,25	40	T	0,4	3	60	0,00410	0,00019	0,17239	0,00037
85	0,15	60	S	0,8	3	75	0,03712	0,00069	0,13820	0,00033
86	0,25	60	T	1,2	6	60	0,01137	0,00028	0,05231	0,00014
87	0,15	60	S	0,4	9	60	0,01978	0,00049	0,00739	0,00002
88	0,15	60	S	0,8	6	90	0,01649	0,00026	0,09189	0,00024
89	0,15	40	T	0,4	9	60	0,00847	0,00024	0,16688	0,00036
90	0,25	40	T	0,4	3	90	0,00538	0,00026	0,04435	0,00011
91	0,15	60	S	1,2	3	90	0,02760	0,00029	0,16303	0,00036
92	0,25	40	T	1,2	3	90	0,00371	0,00012	0,00910	0,00002
93	0,15	40	S	1,2	6	60	0,01929	0,00015	0,13260	0,00017

94	0,15	40	T	1,2	3	75	0,01327	0,00018	0,02895	0,00005
95	0,25	40	T	1,2	6	60	0,01287	0,00035	0,03522	0,00006
96	0,25	40	T	0,8	6	90	0,01033	0,00038	0,19773	0,00044
97	0,15	60	T	0,8	9	90	0,00098	0,00002	0,01398	0,00004
98	0,25	60	T	1,2	6	90	0,02184	0,00057	0,05483	0,00016
99	0,25	40	S	0,8	3	60	0,00976	0,00036	0,02588	0,00004
100	0,15	60	S	1,2	6	90	0,04589	0,00033	0,15947	0,00037
101	0,15	60	T	0,8	6	60	0,01781	0,00029	0,05169	0,00014
102	0,25	60	S	1,2	3	75	0,00127	0,00003	0,12064	0,00028
103	0,15	40	T	0,8	9	75	0,01449	0,00030	0,16084	0,00033
104	0,15	40	S	0,8	6	90	0,00228	0,00004	0,08142	0,00014
105	0,25	60	T	0,8	9	60	0,00502	0,00018	0,04616	0,00014
106	0,25	40	T	0,4	9	90	0,00595	0,00028	0,01607	0,00004
107	0,15	60	T	1,2	9	60	0,01497	0,00014	0,04927	0,00013
108	0,15	40	T	1,2	9	60	0,03461	0,00040	0,02223	0,00004
109	0,15	40	T	0,4	9	90	0,00611	0,00018	0,03895	0,00009
110	0,15	40	T	1,2	6	60	0,03708	0,00036	0,03249	0,00005
111	0,25	40	T	0,4	6	60	0,00630	0,00028	0,15938	0,00036
112	0,15	40	T	1,2	6	75	0,00862	0,00009	0,03293	0,00006
113	0,25	40	T	0,8	3	75	0,00264	0,00010	0,15529	0,00032
114	0,25	40	S	1,2	6	60	0,01687	0,00043	0,04000	0,00006
115	0,25	60	S	0,4	3	75	0,00814	0,00036	0,02208	0,00006
116	0,25	60	S	0,4	6	90	0,00799	0,00033	0,01312	0,00004
117	0,25	60	S	0,8	9	60	0,00370	0,00012	0,13034	0,00035
118	0,25	40	S	0,4	9	90	0,00147	0,00007	0,08860	0,00020
119	0,15	40	S	0,4	9	60	0,01016	0,00027	0,08131	0,00015
120	0,15	60	S	1,2	3	75	0,03483	0,00035	0,10953	0,00023
121	0,15	60	T	0,4	6	90	0,01511	0,00039	0,03565	0,00011
122	0,25	40	T	1,2	9	90	0,00574	0,00017	0,02725	0,00006
123	0,15	60	S	0,8	9	75	0,01673	0,00028	0,10812	0,00028
124	0,25	40	T	1,2	9	75	0,00987	0,00029	0,00859	0,00002
125	0,15	60	S	0,4	6	75	0,00829	0,00020	0,01711	0,00005
126	0,25	60	T	0,8	6	60	0,00191	0,00006	0,04387	0,00013
127	0,25	40	S	1,2	6	90	0,01369	0,00036	0,19191	0,00032
128	0,25	60	T	0,4	3	90	0,00351	0,00016	0,04738	0,00015
129	0,25	60	S	1,2	6	90	0,01225	0,00030	0,16312	0,00041
130	0,15	40	S	1,2	9	60	0,02164	0,00021	0,09459	0,00013
131	0,15	40	S	0,4	6	90	0,00973	0,00026	0,07248	0,00014
132	0,25	40	S	1,2	3	90	0,00931	0,00028	0,18084	0,00029
133	0,25	40	T	0,4	3	75	0,00559	0,00027	0,10918	0,00025
134	0,15	40	T	0,4	3	60	0,00543	0,00016	0,20821	0,00041
135	0,15	40	T	1,2	9	75	0,00334	0,00004	0,01705	0,00003
136	0,25	40	S	0,8	3	75	0,00107	0,00004	0,04829	0,00008

137	0,25	60	T	0,4	6	75	0,00669	0,00028	0,01770	0,00006
138	0,25	40	T	0,8	9	90	0,00579	0,00022	0,21012	0,00049
139	0,15	60	T	1,2	6	75	0,02197	0,00018	0,04690	0,00012
140	0,15	40	S	0,4	3	90	0,00545	0,00016	0,07907	0,00014
141	0,25	60	T	0,8	3	75	0,00656	0,00025	0,03049	0,00009
142	0,25	60	T	1,2	3	60	0,01677	0,00047	0,05336	0,00014
143	0,15	60	S	0,8	6	60	0,02315	0,00033	0,18272	0,00043
144	0,25	60	S	0,4	6	75	0,00285	0,00012	0,01814	0,00005
145	0,15	40	S	0,4	9	90	0,00581	0,00016	0,08456	0,00017
146	0,15	40	T	1,2	3	60	0,02975	0,00039	0,02031	0,00003
147	0,15	40	S	0,4	9	75	0,01041	0,00029	0,06836	0,00013
148	0,15	40	S	0,4	6	75	0,00672	0,00017	0,06030	0,00011
149	0,15	40	S	0,4	3	60	0,01047	0,00030	0,10274	0,00017
150	0,25	60	T	1,2	9	60	0,01697	0,00045	0,04068	0,00011
151	0,25	60	S	1,2	9	90	0,01574	0,00041	0,17145	0,00045
152	0,15	40	T	1,2	3	90	0,01771	0,00026	0,00379	0,00001
153	0,15	60	T	1,2	3	60	0,02594	0,00029	0,06762	0,00016
154	0,15	60	T	1,2	6	60	0,03581	0,00027	0,06526	0,00016
155	0,25	60	S	1,2	3	60	0,01867	0,00049	0,06266	0,00014
156	0,25	60	S	0,8	3	75	0,01080	0,00039	0,11249	0,00029
157	0,25	40	S	0,4	9	75	0,00997	0,00045	0,06618	0,00014
158	0,25	60	S	0,4	9	90	0,00501	0,00022	0,01583	0,00005
159	0,15	40	S	1,2	9	75	0,01792	0,00019	0,08059	0,00012
160	0,25	40	S	0,8	3	90	0,01409	0,00054	0,07353	0,00013
161	0,25	60	T	0,8	9	75	0,00731	0,00026	0,01662	0,00005
162	0,25	40	S	1,2	3	75	0,00432	0,00013	0,08281	0,00012
163	0,15	40	T	1,2	9	90	0,03806	0,00048	0,01461	0,00003
164	0,25	40	T	0,4	9	60	0,00033	0,00002	0,13473	0,00032
165	0,15	40	S	0,8	6	75	0,02219	0,00038	0,04793	0,00008
166	0,25	40	S	1,2	3	60	0,01684	0,00048	0,09393	0,00013
167	0,25	60	T	0,4	6	60	0,00706	0,00030	0,07983	0,00025
168	0,25	60	S	0,4	3	60	0,00455	0,00020	0,00349	0,00001
169	0,15	60	S	0,8	3	60	0,00828	0,00015	0,19748	0,00045
170	0,25	60	S	0,4	3	90	0,00161	0,00007	0,02075	0,00006
171	0,15	60	T	0,4	9	90	0,00650	0,00018	0,04721	0,00015
172	0,15	60	S	0,8	6	75	0,01322	0,00020	0,12854	0,00032
173	0,25	60	S	0,8	3	90	0,00473	0,00017	0,08048	0,00021
174	0,15	60	T	0,8	6	90	0,00824	0,00014	0,01007	0,00003
175	0,15	60	T	0,8	3	60	0,00964	0,00019	0,05823	0,00015
176	0,15	40	T	0,4	3	75	0,01240	0,00038	0,14157	0,00029
177	0,15	60	S	0,4	3	60	0,01691	0,00045	0,00748	0,00002
178	0,15	40	S	0,8	3	90	0,00981	0,00021	0,07406	0,00012
179	0,25	40	S	1,2	6	75	0,00150	0,00004	0,11086	0,00018

180	0,25	40	T	1,2	6	90	0,00767	0,00022	0,00952	0,00002
181	0,15	60	S	1,2	6	75	0,03209	0,00021	0,10958	0,00024
182	0,15	60	S	0,4	9	75	0,00197	0,00005	0,02539	0,00007
183	0,25	60	T	0,4	9	60	0,00425	0,00019	0,07396	0,00024
184	0,15	60	S	0,8	9	60	0,01672	0,00027	0,15690	0,00039
185	0,25	60	S	0,8	6	60	0,00176	0,00006	0,15183	0,00039
186	0,15	40	T	0,4	3	90	0,00217	0,00007	0,07145	0,00016
187	0,25	60	T	1,2	3	75	0,00271	0,00008	0,03938	0,00011
188	0,15	60	T	0,4	3	60	0,01291	0,00036	0,11885	0,00033
189	0,25	40	T	0,8	3	90	0,00849	0,00034	0,20112	0,00043
190	0,15	40	T	0,8	9	60	0,00720	0,00014	0,12785	0,00025
191	0,15	60	S	0,8	3	90	0,01201	0,00023	0,09661	0,00024
192	0,15	60	S	1,2	3	60	0,00033	0,00000	0,04412	0,00009
193	0,25	40	S	0,8	6	75	0,00674	0,00023	0,06128	0,00011
194	0,15	60	T	0,8	6	75	0,01649	0,00028	0,03284	0,00009
195	0,15	60	T	0,8	3	90	0,01524	0,00032	0,00384	0,00001
196	0,15	60	S	1,2	9	75	0,03847	0,00032	0,12599	0,00029
197	0,25	60	S	1,2	3	90	0,01558	0,00043	0,16643	0,00040
198	0,15	60	S	0,4	6	60	0,01053	0,00024	0,00544	0,00001
199	0,25	40	S	1,2	9	90	0,00752	0,00021	0,18068	0,00032
200	0,15	40	S	0,8	9	60	0,00069	0,00001	0,02879	0,00005
201	0,25	60	S	1,2	9	60	0,02002	0,00050	0,08328	0,00020
202	0,15	40	S	0,8	9	75	0,02087	0,00040	0,04439	0,00008
203	0,25	40	S	1,2	9	60	0,01428	0,00038	0,01678	0,00003
204	0,15	60	T	0,4	6	60	0,01578	0,00039	0,10299	0,00030
205	0,25	40	T	0,8	9	60	0,00401	0,00015	0,12792	0,00027
206	0,25	60	T	0,4	3	60	0,00087	0,00004	0,09590	0,00029
207	0,15	60	T	0,8	9	75	0,02080	0,00039	0,03270	0,00009
208	0,15	60	S	0,4	9	90	0,01466	0,00038	0,02343	0,00007
209	0,15	60	S	1,2	6	60	0,04338	0,00025	0,04752	0,00010
210	0,15	40	S	1,2	3	90	0,03632	0,00046	0,16930	0,00024
211	0,25	60	T	0,8	9	90	0,00864	0,00031	0,03594	0,00011
212	0,15	40	S	0,8	9	90	0,00936	0,00018	0,06889	0,00012
213	0,25	40	S	0,8	6	90	0,00949	0,00033	0,07764	0,00015
214	0,15	60	T	0,8	9	60	0,01102	0,00020	0,05570	0,00016
215	0,15	60	S	0,4	6	90	0,01535	0,00037	0,01944	0,00005
216	0,15	60	T	1,2	6	90	0,04228	0,00038	0,05102	0,00014
Минимална вредност							0,00033	0,00000	0,00113	0,00000
Максимална вредност							0,04589	0,00069	0,44385	0,00078
Средња аритметичка вредност							0,01200	0,00026	0,07872	0,00017

Табела 6.8. Процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку хрпаовост и леђно хабање током обуке, валидације и тестирања за *Bayesian Regularization* алгоритам.

Р. бр.	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra		VB	
							PE (%)	AE (μ m)	PE (%)	AE (mm)
1	0,15	60	T	1,2	3	90	0,89246	0,01098	8,75574	0,02250
2	0,25	40	T	0,4	9	75	0,33414	0,01552	7,07623	0,01748
3	0,25	60	T	0,8	3	60	0,35894	0,01321	5,82920	0,01626
4	0,25	60	T	1,2	6	75	0,39640	0,01007	4,74372	0,01314
5	0,15	40	T	0,8	6	60	0,98143	0,01798	2,18057	0,00401
6	0,15	40	S	1,2	6	90	0,66011	0,00614	11,59697	0,01728
7	0,15	40	T	0,8	9	90	0,75798	0,01617	7,36665	0,01576
8	0,15	40	T	0,8	3	60	0,80107	0,01743	8,10217	0,01418
9	0,25	60	S	0,8	3	60	0,75643	0,02654	4,70779	0,01158
10	0,25	40	S	0,8	9	90	0,60988	0,02244	9,37457	0,01884
11	0,15	40	S	1,2	3	60	1,33636	0,01530	15,10151	0,01797
12	0,15	60	T	0,4	9	75	1,17788	0,03196	4,31478	0,01342
13	0,25	60	T	0,8	3	90	0,05687	0,00217	9,79423	0,02928
14	0,25	60	S	1,2	6	75	0,62837	0,01489	6,90852	0,01679
15	0,15	40	S	1,2	6	75	0,32206	0,00279	14,21092	0,01975
16	0,15	40	T	0,4	6	90	0,78469	0,02213	8,15842	0,01852
17	0,25	40	S	0,4	6	90	0,51605	0,02254	5,93413	0,01264
18	0,25	40	S	0,4	3	75	0,13194	0,00613	2,68801	0,00519
19	0,25	40	T	1,2	6	75	0,02039	0,00056	3,55754	0,00683
20	0,25	60	S	0,4	9	60	0,18294	0,00767	6,11812	0,01762
21	0,15	60	T	1,2	9	75	0,62775	0,00624	4,16875	0,01113
22	0,25	60	S	0,4	9	75	0,15768	0,00672	4,49520	0,01340
23	0,25	40	T	0,4	6	75	0,31622	0,01415	6,75272	0,01600
24	0,25	60	T	0,4	9	90	0,59948	0,02695	6,79957	0,02319
25	0,25	60	T	1,2	9	90	0,27653	0,00768	8,26795	0,02456
26	0,15	60	T	0,4	3	75	0,12318	0,00355	7,45058	0,02168
27	0,25	60	T	0,8	6	90	0,08533	0,00296	6,53726	0,02020
28	0,15	40	S	1,2	9	90	0,33813	0,00373	9,95671	0,01583
29	0,15	60	S	0,8	9	90	0,33387	0,00583	4,46349	0,01187
30	0,25	40	S	0,8	9	60	0,31751	0,01127	10,55508	0,01910
31	0,15	40	S	1,2	3	75	0,72443	0,00876	8,74242	0,01128
32	0,15	60	S	0,4	3	75	0,01904	0,00052	1,92519	0,00497
33	0,25	60	S	0,8	9	90	0,23428	0,00812	2,11594	0,00605
34	0,25	40	S	1,2	9	75	0,03314	0,00091	11,77465	0,01990
35	0,25	60	S	1,2	6	60	0,70738	0,01631	10,23997	0,02386
36	0,25	40	S	0,4	3	90	0,10786	0,00508	1,07447	0,00218
37	0,25	60	S	0,8	6	90	0,35531	0,01170	3,01674	0,00833
38	0,25	60	T	0,8	6	75	0,19412	0,00660	4,29997	0,01286
39	0,15	60	S	0,4	3	90	0,00452	0,00013	1,35668	0,00364
40	0,25	40	T	1,2	3	75	0,43660	0,01353	8,85820	0,01612

41	0,25	40	T	0,8	9	75	0,53649	0,02032	5,70889	0,01279
42	0,15	40	T	0,8	6	75	0,42517	0,00806	5,50090	0,01067
43	0,15	40	S	0,4	6	60	0,49240	0,01241	15,46204	0,02675
44	0,25	40	T	1,2	9	60	0,15128	0,00433	5,00246	0,00960
45	0,25	40	T	0,8	6	60	0,17426	0,00619	4,18210	0,00853
46	0,25	60	T	1,2	3	90	0,20896	0,00616	10,22760	0,02833
47	0,25	60	S	0,8	6	75	0,69489	0,02244	5,80597	0,01544
48	0,25	60	S	0,8	9	75	0,14241	0,00484	4,73638	0,01307
49	0,15	40	T	0,8	3	75	0,36567	0,00819	10,93476	0,02012
50	0,15	60	S	1,2	9	90	1,07363	0,00952	4,85240	0,01179
51	0,15	40	T	1,2	6	90	0,71898	0,00792	6,23488	0,01135
52	0,15	60	S	1,2	9	60	1,54627	0,01172	10,23715	0,02283
53	0,25	40	S	0,4	6	75	0,47343	0,02037	7,48696	0,01520
54	0,25	40	T	1,2	3	60	0,12442	0,00378	8,66559	0,01490
55	0,15	60	T	0,4	3	90	0,13912	0,00410	8,07792	0,02431
56	0,15	60	T	0,4	9	60	0,91842	0,02432	4,91635	0,01480
57	0,25	60	T	0,4	6	90	0,26881	0,01162	6,15029	0,02036
58	0,15	60	T	0,4	6	75	0,51592	0,01311	4,05592	0,01221
59	0,25	60	S	0,4	6	60	0,14907	0,00600	6,80171	0,01891
60	0,25	40	T	0,4	6	90	0,23286	0,01057	7,04708	0,01741
61	0,25	60	T	0,4	9	75	0,67400	0,02987	4,80056	0,01589
62	0,15	60	T	0,8	3	75	0,63973	0,01295	7,06814	0,01901
63	0,15	40	T	0,8	6	90	0,09836	0,00193	7,34563	0,01499
64	0,15	40	S	0,8	3	60	1,61945	0,03245	11,14023	0,01571
65	0,15	40	T	0,4	9	75	0,83166	0,02435	6,13247	0,01392
66	0,25	60	S	1,2	9	75	0,01124	0,00029	5,14000	0,01300
67	0,15	40	T	0,8	3	90	0,08323	0,00192	12,94400	0,02511
68	0,15	40	S	0,8	6	60	1,92680	0,03198	17,04338	0,02574
69	0,25	40	T	0,8	6	75	0,01846	0,00067	5,50579	0,01178
70	0,25	60	T	0,4	3	75	0,21099	0,00971	7,08566	0,02204
71	0,25	40	S	0,8	9	75	0,59119	0,02137	8,25833	0,01577
72	0,25	40	S	0,4	9	60	0,06818	0,00301	9,32025	0,01892
73	0,25	40	S	0,4	6	60	0,34948	0,01481	10,89384	0,02103
74	0,15	60	T	1,2	9	90	0,27846	0,00295	6,56173	0,01818
75	0,25	40	T	0,8	3	60	0,28011	0,01091	9,26605	0,01798
76	0,25	40	S	0,8	6	60	0,64829	0,02191	12,07840	0,02065
77	0,15	40	S	0,8	3	75	1,24123	0,02567	5,81252	0,00878
78	0,15	40	T	0,4	6	75	0,66115	0,01822	5,70722	0,01238
79	0,25	60	T	1,2	9	75	0,00209	0,00006	5,83185	0,01674
80	0,15	40	S	0,4	3	75	0,21412	0,00627	5,75500	0,00996
81	0,15	40	T	0,4	6	60	0,47056	0,01266	2,38747	0,00494
82	0,15	60	T	1,2	3	75	1,21364	0,01415	6,35582	0,01570
83	0,25	40	S	0,4	3	60	0,03459	0,00159	6,09821	0,01116

84	0,25	40	T	0,4	3	60	0,14957	0,00711	8,73754	0,01896
85	0,15	60	S	0,8	3	75	1,28902	0,02390	3,61828	0,00854
86	0,25	60	T	1,2	6	60	0,35957	0,00891	2,20240	0,00588
87	0,15	60	S	0,4	9	60	0,35065	0,00869	4,18829	0,01122
88	0,15	60	S	0,8	6	90	1,13578	0,01788	5,32072	0,01362
89	0,15	40	T	0,4	9	60	0,79261	0,02269	3,15507	0,00685
90	0,25	40	T	0,4	3	90	0,14650	0,00715	11,56481	0,02741
91	0,15	60	S	1,2	3	90	1,89540	0,02007	3,51253	0,00783
92	0,25	40	T	1,2	3	90	0,99700	0,03155	4,58402	0,00880
93	0,15	40	S	1,2	6	60	0,98535	0,00789	19,87261	0,02564
94	0,15	40	T	1,2	3	75	0,17224	0,00238	11,02567	0,01786
95	0,25	40	T	1,2	6	60	0,27051	0,00728	3,84325	0,00699
96	0,25	40	T	0,8	6	90	0,12283	0,00452	3,71726	0,00833
97	0,15	60	T	0,8	9	90	0,23234	0,00446	5,67702	0,01697
98	0,25	60	T	1,2	6	90	0,50376	0,01312	7,31856	0,02100
99	0,25	40	S	0,8	3	60	0,67856	0,02526	6,54928	0,01054
100	0,15	60	S	1,2	6	90	1,87417	0,01340	6,50660	0,01516
101	0,15	60	T	0,8	6	60	1,11712	0,01806	2,88437	0,00776
102	0,25	60	S	1,2	3	75	0,47495	0,01289	4,30991	0,01004
103	0,15	40	T	0,8	9	75	0,48978	0,01013	6,08370	0,01241
104	0,15	40	S	0,8	6	90	0,97189	0,01739	8,43866	0,01443
105	0,25	60	T	0,8	9	60	0,43553	0,01528	2,98495	0,00893
106	0,25	40	T	0,4	9	90	0,59564	0,02806	6,82406	0,01754
107	0,15	60	T	1,2	9	60	0,74309	0,00691	2,33600	0,00600
108	0,15	40	T	1,2	9	60	0,46066	0,00527	4,20543	0,00723
109	0,15	40	T	0,4	9	90	0,95827	0,02867	8,23625	0,01952
110	0,15	40	T	1,2	6	60	0,18818	0,00183	2,45099	0,00397
111	0,25	40	T	0,4	6	60	0,28004	0,01235	4,57700	0,01039
112	0,15	40	T	1,2	6	75	0,23812	0,00247	5,64604	0,00971
113	0,25	40	T	0,8	3	75	0,14486	0,00574	10,80128	0,02203
114	0,25	40	S	1,2	6	60	0,43905	0,01106	14,55033	0,02168
115	0,25	60	S	0,4	3	75	0,09908	0,00439	2,18950	0,00609
116	0,25	60	S	0,4	6	90	0,40291	0,01673	2,93292	0,00874
117	0,25	60	S	0,8	9	60	0,52980	0,01767	7,12319	0,01895
118	0,25	40	S	0,4	9	90	0,06305	0,00286	5,07993	0,01133
119	0,15	40	S	0,4	9	60	0,16636	0,00448	13,56880	0,02483
120	0,15	60	S	1,2	3	75	2,83125	0,02814	6,72547	0,01433
121	0,15	60	T	0,4	6	90	0,53036	0,01382	5,08905	0,01583
122	0,25	40	T	1,2	9	90	0,50317	0,01505	1,61754	0,00343
123	0,15	60	S	0,8	9	75	0,20611	0,00347	6,62902	0,01697
124	0,25	40	T	1,2	9	75	0,01181	0,00035	3,90191	0,00788
125	0,15	60	S	0,4	6	75	0,80701	0,01912	5,65836	0,01516
126	0,25	60	T	0,8	6	60	0,46827	0,01562	2,32716	0,00673

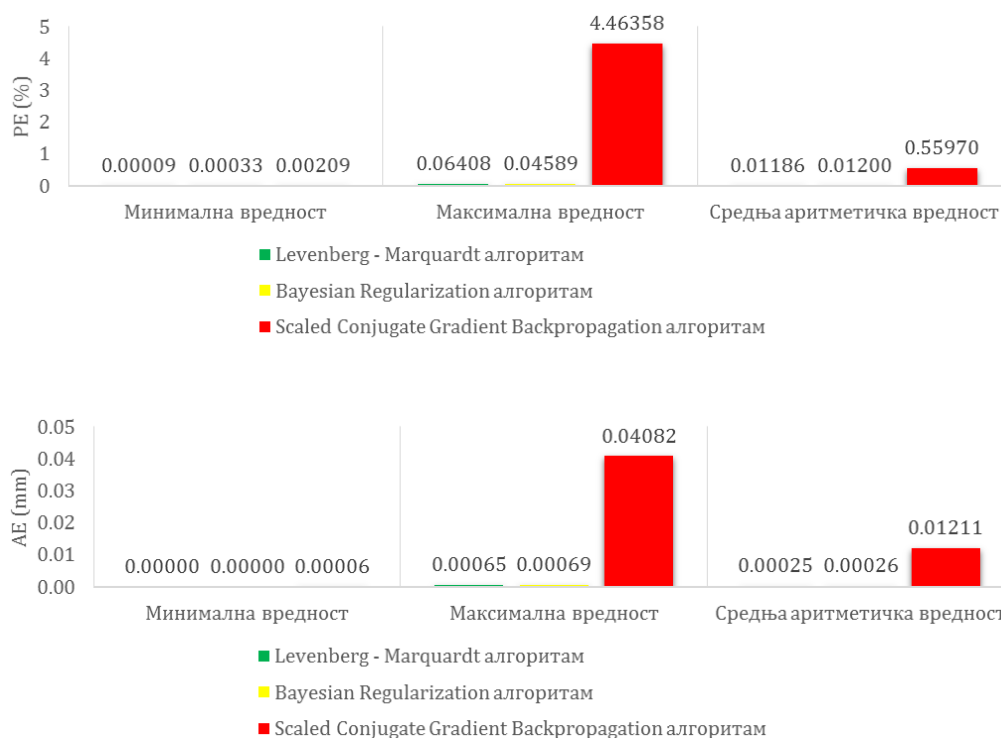
127	0,25	40	S	1,2	6	90	0,61483	0,01628	16,67205	0,02818
128	0,25	60	T	0,4	3	90	0,29964	0,01399	8,92048	0,02863
129	0,25	60	S	1,2	6	90	0,60122	0,01463	3,54276	0,00896
130	0,15	40	S	1,2	9	60	0,39631	0,00386	16,62633	0,02311
131	0,15	40	S	0,4	6	90	1,10251	0,02919	6,67817	0,01289
132	0,25	40	S	1,2	3	90	0,87760	0,02626	10,51612	0,01672
133	0,25	40	T	0,4	3	75	0,21443	0,01033	10,99539	0,02496
134	0,15	40	T	0,4	3	60	0,05626	0,00171	6,68953	0,01318
135	0,15	40	T	1,2	9	75	0,19356	0,00234	6,74440	0,01227
136	0,25	40	S	0,8	3	75	0,54508	0,02064	3,46356	0,00592
137	0,25	60	T	0,4	6	75	0,17931	0,00764	4,16742	0,01338
138	0,25	40	T	0,8	9	90	0,41570	0,01601	3,17810	0,00744
139	0,15	60	T	1,2	6	75	0,31384	0,00258	3,06174	0,00787
140	0,15	40	S	0,4	3	90	0,03848	0,00115	1,98128	0,00363
141	0,25	60	T	0,8	3	75	0,16219	0,00607	7,63117	0,02205
142	0,25	60	T	1,2	3	60	0,37058	0,01045	5,12529	0,01317
143	0,15	60	S	0,8	6	60	1,60361	0,02317	7,83056	0,01848
144	0,25	60	S	0,4	6	75	0,23552	0,00963	5,27419	0,01519
145	0,15	40	S	0,4	9	90	0,13322	0,00376	5,34330	0,01085
146	0,15	40	T	1,2	3	60	0,48855	0,00643	7,59899	0,01155
147	0,15	40	S	0,4	9	75	0,11594	0,00320	8,95136	0,01728
148	0,15	40	S	0,4	6	75	0,82946	0,02143	10,60214	0,01940
149	0,15	40	S	0,4	3	60	0,42010	0,01203	10,51034	0,01713
150	0,25	60	T	1,2	9	60	0,18574	0,00492	3,40129	0,00942
151	0,25	60	S	1,2	9	90	0,22273	0,00580	2,03225	0,00534
152	0,15	40	T	1,2	3	90	0,24571	0,00355	12,01452	0,02067
153	0,15	60	T	1,2	3	60	2,00804	0,02213	4,89239	0,01160
154	0,15	60	T	1,2	6	60	0,86514	0,00656	1,30382	0,00322
155	0,25	60	S	1,2	3	60	0,73627	0,01950	7,64113	0,01704
156	0,25	60	S	0,8	3	75	0,58110	0,02076	2,46914	0,00632
157	0,25	40	S	0,4	9	75	0,06309	0,00282	6,17522	0,01315
158	0,25	60	S	0,4	9	90	0,09527	0,00412	2,24386	0,00691
159	0,15	40	S	1,2	9	75	0,53998	0,00560	11,78846	0,01756
160	0,25	40	S	0,8	3	90	0,60657	0,02337	3,56069	0,00644
161	0,25	60	T	0,8	9	75	0,09781	0,00349	4,97794	0,01538
162	0,25	40	S	1,2	3	75	0,26033	0,00762	7,68593	0,01145
163	0,15	40	T	1,2	9	90	0,34449	0,00439	6,50394	0,01249
164	0,25	40	T	0,4	9	60	0,26336	0,01207	5,31014	0,01259
165	0,15	40	S	0,8	6	75	1,42914	0,02465	11,93061	0,01921
166	0,25	40	S	1,2	3	60	0,12149	0,00348	10,03338	0,01395
167	0,25	60	T	0,4	6	60	0,15587	0,00654	2,79062	0,00868
168	0,25	60	S	0,4	3	60	0,05645	0,00247	3,34118	0,00895
169	0,15	60	S	0,8	3	60	1,07437	0,01922	3,23301	0,00731

170	0,25	60	S	0,4	3	90	0,23577	0,01060	0,01712	0,00005
171	0,15	60	T	0,4	9	90	1,18369	0,03287	5,56571	0,01787
172	0,15	60	S	0,8	6	75	1,60580	0,02425	7,50965	0,01847
173	0,25	60	S	0,8	3	90	0,36387	0,01323	0,27187	0,00072
174	0,15	60	T	0,8	6	90	0,49914	0,00872	5,09654	0,01473
175	0,15	60	T	0,8	3	60	0,66248	0,01299	7,21168	0,01868
176	0,15	40	T	0,4	3	75	0,13659	0,00423	10,00366	0,02071
177	0,15	60	S	0,4	3	60	0,36720	0,00972	0,78567	0,00195
178	0,15	40	S	0,8	3	90	1,02012	0,02176	2,20492	0,00355
179	0,25	40	S	1,2	6	75	0,07933	0,00205	13,02363	0,02071
180	0,25	40	T	1,2	6	90	0,62372	0,01759	1,21669	0,00246
181	0,15	60	S	1,2	6	75	2,74552	0,01785	9,77853	0,02181
182	0,15	60	S	0,4	9	75	0,03406	0,00087	5,37119	0,01493
183	0,25	60	T	0,4	9	60	0,70981	0,03100	3,27369	0,01051
184	0,15	60	S	0,8	9	60	0,42260	0,00683	7,30506	0,01797
185	0,25	60	S	0,8	6	60	0,95141	0,03010	8,23632	0,02109
186	0,15	40	T	0,4	3	90	0,28746	0,00910	12,53866	0,02721
187	0,25	60	T	1,2	3	75	0,23259	0,00671	7,63545	0,02039
188	0,15	60	T	0,4	3	60	0,43784	0,01235	9,39961	0,02641
189	0,25	40	T	0,8	3	90	0,18971	0,00763	9,43011	0,02018
190	0,15	40	T	0,8	9	60	0,04925	0,00099	3,20672	0,00622
191	0,15	60	S	0,8	3	90	1,03925	0,01993	1,70169	0,00419
192	0,15	60	S	1,2	3	60	4,38956	0,04082	8,62600	0,01751
193	0,25	40	S	0,8	6	75	0,47298	0,01628	9,35310	0,01693
194	0,15	60	T	0,8	6	75	0,98342	0,01654	3,29961	0,00921
195	0,15	60	T	0,8	3	90	0,36137	0,00755	8,62545	0,02407
196	0,15	60	S	1,2	9	75	1,10496	0,00908	7,92175	0,01846
197	0,25	60	S	1,2	3	90	0,35197	0,00977	0,87383	0,00212
198	0,15	60	S	0,4	6	60	1,11870	0,02579	3,88510	0,01002
199	0,25	40	S	1,2	9	90	0,45274	0,01277	16,18072	0,02896
200	0,15	40	S	0,8	9	60	0,21297	0,00390	14,90190	0,02399
201	0,25	60	S	1,2	9	60	0,18616	0,00461	8,27095	0,02010
202	0,15	40	S	0,8	9	75	0,86714	0,01644	10,14171	0,01734
203	0,25	40	S	1,2	9	60	0,10951	0,00295	12,38017	0,01968
204	0,15	60	T	0,4	6	60	0,80051	0,01983	5,22075	0,01519
205	0,25	40	T	0,8	9	60	0,36406	0,01355	4,94632	0,01059
206	0,25	60	T	0,4	3	60	0,19404	0,00881	6,02185	0,01813
207	0,15	60	T	0,8	9	75	0,78740	0,01460	3,81373	0,01102
208	0,15	60	S	0,4	9	90	0,15682	0,00409	4,14936	0,01195
209	0,15	60	S	1,2	6	60	4,46358	0,02616	12,04549	0,02566
210	0,15	40	S	1,2	3	90	0,02336	0,00030	5,44297	0,00757
211	0,25	60	T	0,8	9	90	0,23489	0,00854	7,16541	0,02286
212	0,15	40	S	0,8	9	90	1,29212	0,02534	7,08620	0,01283

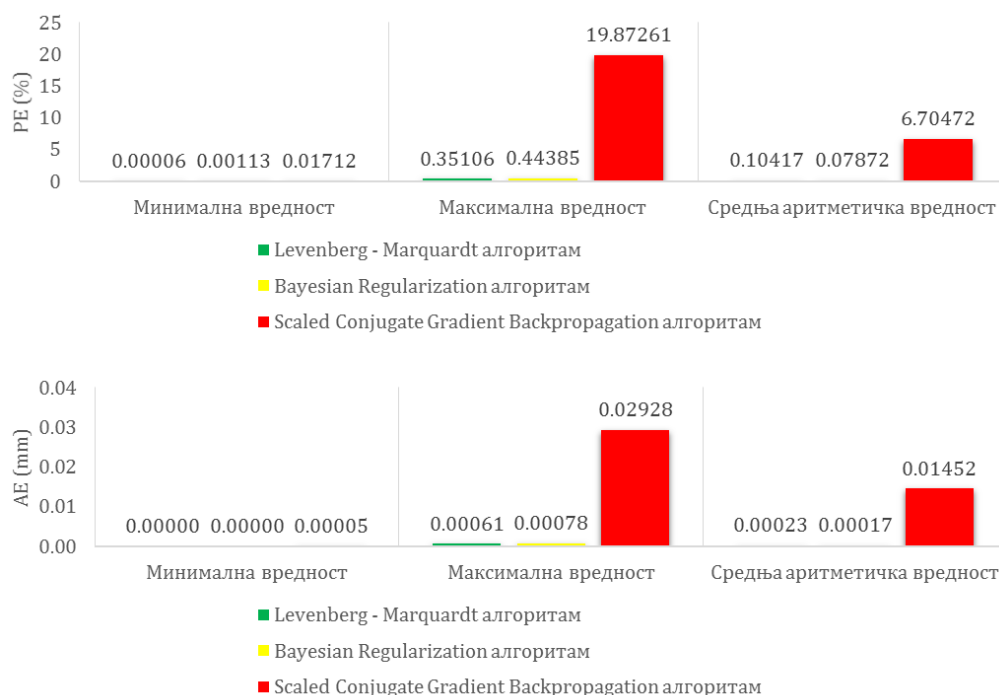
213	0,25	40	S	0,8	6	90	0,50844	0,01784	9,86322	0,01884
214	0,15	60	T	0,8	9	60	1,07350	0,01921	3,07043	0,00857
215	0,15	60	S	0,4	6	90	0,81892	0,01993	4,61728	0,01284
216	0,15	60	T	1,2	6	90	0,19745	0,00175	5,54162	0,01480
Минимална вредност							0,00209	0,00006	0,01712	0,00005
Максимална вредност							4,46358	0,04082	19,87261	0,02928
Средња аритметичка вредност							0,55970	0,01211	6,70472	0,01452

Табела 6.9. Процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку храпавост и леђно хабање током обуке, валидације и тестирања за *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритам.

Графичка интерпретација добијених минималних, максималних и средњих аритметичких вредности процентуалних и апсолутних грешки за средњу аритметичку храпавости и леђно хабање, за сва три алгоритма, приказана је на сликама 6.6 и 6.7. Са слика је уочљиво да се најмање минималне, максималне и средње аритметичке вредности за процентуалне и апсолутне грешке добијају за *Levenberg - Marquardt* алгоритам, незнатно веће за *Bayesian Regularization* алгоритам, а значајно веће за *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритам.



Слика 6.6. Графичка интерпретација добијених минималних, максималних и средњих аритметичких вредности процентуалних и апсолутних грешки за средњу аритметичку храпавост за различите алгоритме током обуке, валидације и тестирања [83].



Слика 6.7. Графичка интерпретација добијених минималних, максималних и средњих аритметичких вредности процентуалних и апсолутних грешки за леђно хабање за различите алгоритме током обуке, валидације и тестирања [83].

6.4. Конфирмација развијених АНН модела

Провера добијених модела за сва три алгоритма обуке је извршена кроз осамнаест додатних конфирмационих експеримената. Конфирмациони експерименти су извршени са комбинацијама улазних параметара са којима није извршено обучавање, тестирање и валидација неуронских мрежа, како би се проверила способност генерализације формираних модела. Добијени експериментални подаци приказани су у табели 6.10, а резултати предикције за сва три алгоритма обуке у табелама 6.11 - 6.13. Добијене процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку храпавост за *Levenberg - Marquardt* алгоритам, *Bayesian Regularization* алгоритам и *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритам су приказане у табелама 6.14 – 6.16.

Р.бр.	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra (μm)	VB (mm)
1	0,20	50	T	1,2	3	60	2,269	0,174
2	0,20	50	S	1,2	3	60	2,099	0,139
3	0,20	50	T	1,2	6	60	1,938	0,183
4	0,20	50	S	1,2	6	60	1,766	0,148
5	0,20	50	T	1,2	9	60	2,099	0,194
6	0,20	50	S	1,2	9	60	1,933	0,16
7	0,20	50	T	1,2	3	75	2,351	0,184
8	0,20	50	S	1,2	3	75	2,173	0,149

9	0,20	50	T	1,2	6	75	2,051	0,193
10	0,20	50	S	1,2	6	75	1,842	0,159
11	0,20	50	T	1,2	9	75	2,194	0,204
12	0,20	50	S	1,2	9	75	2,001	0,169
13	0,20	50	T	1,2	3	90	2,413	0,193
14	0,20	50	S	1,2	3	90	2,249	0,159
15	0,20	50	T	1,2	6	90	2,061	0,203
16	0,20	50	S	1,2	6	90	1,911	0,169
17	0,20	50	T	1,2	9	90	2,261	0,214
18	0,20	50	S	1,2	9	90	2,072	0,178

Табела 6.10. Измерене вредности средње аритметичке храпавости и леђног хабања за конфигурационе експерименте [84].

Р.бр	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra (μm)	VB (mm)
1	0,20	50	T	1,2	3	60	2,311	0,171
2	0,20	50	S	1,2	3	60	2,140	0,137
3	0,20	50	T	1,2	6	60	1,968	0,181
4	0,20	50	S	1,2	6	60	1,796	0,147
5	0,20	50	T	1,2	9	60	2,140	0,191
6	0,20	50	S	1,2	9	60	1,968	0,157
7	0,20	50	T	1,2	3	75	2,376	0,181
8	0,20	50	S	1,2	3	75	2,204	0,147
9	0,20	50	T	1,2	6	75	2,032	0,191
10	0,20	50	S	1,2	6	75	1,860	0,157
11	0,20	50	T	1,2	9	75	2,204	0,201
12	0,20	50	S	1,2	9	75	2,032	0,167
13	0,20	50	T	1,2	3	90	2,440	0,191
14	0,20	50	S	1,2	3	90	2,268	0,157
15	0,20	50	T	1,2	6	90	2,096	0,201
16	0,20	50	S	1,2	6	90	1,924	0,167
17	0,20	50	T	1,2	9	90	2,268	0,211
18	0,20	50	S	1,2	9	90	2,096	0,177
Минимална вредност							1,796	0,137
Максимална вредност							2,440	0,211
Средња аритметичка вредност							2,118	0,174

Табела 6.11. Предиктоване вредности средње аритметичке храпавости и леђног хабања за *Levenberg - Marquardt* алгоритам за конфигурационе експерименте [84].

Р.бр	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra (μm)	VB (mm)
1	0,20	50	T	1,2	3	60	2,407	0,186
2	0,20	50	S	1,2	3	60	1,957	0,148
3	0,20	50	T	1,2	6	60	1,882	0,201
4	0,20	50	S	1,2	6	60	1,626	0,156
5	0,20	50	T	1,2	9	60	1,894	0,204
6	0,20	50	S	1,2	9	60	1,835	0,170
7	0,20	50	T	1,2	3	75	2,501	0,193
8	0,20	50	S	1,2	3	75	1,951	0,152
9	0,20	50	T	1,2	6	75	1,978	0,202
10	0,20	50	S	1,2	6	75	1,622	0,176
11	0,20	50	T	1,2	9	75	2,391	0,215
12	0,20	50	S	1,2	9	75	1,932	0,178
13	0,20	50	T	1,2	3	90	2,595	0,203
14	0,20	50	S	1,2	3	90	2,000	0,162
15	0,20	50	T	1,2	6	90	1,975	0,211
16	0,20	50	S	1,2	6	90	1,818	0,176
17	0,20	50	T	1,2	9	90	2,488	0,225
18	0,20	50	S	1,2	9	90	1,829	0,196
Минимална вредност							1,622	0,148
Максимална вредност							2,595	0,225
Средња аритметичка вредност							2,038	0,186

Табела 6.12. Предиктоване вредности средње аритметичке храпавости и леђног хабања за *Bayesian Regularization* алгоритам за конфирмационе експерименте.

Р.бр	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra (μm)	VB (mm)
1	0,20	50	T	1,2	3	60	2,086	0,187
2	0,20	50	S	1,2	3	60	1,895	0,148
3	0,20	50	T	1,2	6	60	1,699	0,198
4	0,20	50	S	1,2	6	60	1,609	0,165
5	0,20	50	T	1,2	9	60	1,924	0,209
6	0,20	50	S	1,2	9	60	1,731	0,179
7	0,20	50	T	1,2	3	75	2,125	0,203
8	0,20	50	S	1,2	3	75	1,990	0,159
9	0,20	50	T	1,2	6	75	1,943	0,214
10	0,20	50	S	1,2	6	75	1,748	0,175
11	0,20	50	T	1,2	9	75	1,973	0,223
12	0,20	50	S	1,2	9	75	1,876	0,189

13	0,20	50	T	1,2	3	90	2,175	0,211
14	0,20	50	S	1,2	3	90	1,975	0,179
15	0,20	50	T	1,2	6	90	1,798	0,220
16	0,20	50	S	1,2	6	90	1,698	0,189
17	0,20	50	T	1,2	9	90	1,995	0,238
18	0,20	50	S	1,2	9	90	1,832	0,198
Минимална вредност							1,609	0,148
Максимална вредност							2,175	0,238
Средња аритметичка вредност							1,893	0,194

Табела 6.13. Предиктоване вредности средње аритметичке храпавости и леђног хабања за *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* за конфирмационе експерименте.

Р.бр.	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra		VB	
							PE (%)	AE (mm)	PE (%)	AE (mm)
1	0,20	50	T	1,2	3	60	1,851	0,042	1,938	0,003
2	0,20	50	S	1,2	3	60	1,936	0,041	1,225	0,002
3	0,20	50	T	1,2	6	60	1,528	0,030	1,334	0,002
4	0,20	50	S	1,2	6	60	1,689	0,030	0,531	0,001
5	0,20	50	T	1,2	9	60	1,934	0,041	1,736	0,003
6	0,20	50	S	1,2	9	60	1,795	0,035	1,701	0,003
7	0,20	50	T	1,2	3	75	1,052	0,025	1,841	0,003
8	0,20	50	S	1,2	3	75	1,425	0,031	1,162	0,002
9	0,20	50	T	1,2	6	75	0,925	0,019	1,272	0,002
10	0,20	50	S	1,2	6	75	0,984	0,018	1,138	0,002
11	0,20	50	T	1,2	9	75	0,456	0,010	1,657	0,003
12	0,20	50	S	1,2	9	75	1,551	0,031	1,031	0,002
13	0,20	50	T	1,2	3	90	1,129	0,027	1,244	0,002
14	0,20	50	S	1,2	3	90	0,860	0,019	1,104	0,002
15	0,20	50	T	1,2	6	90	1,720	0,035	1,216	0,002
16	0,20	50	S	1,2	6	90	0,705	0,013	1,083	0,002
17	0,20	50	T	1,2	9	90	0,328	0,007	1,586	0,003
18	0,20	50	S	1,2	9	90	1,178	0,024	0,426	0,001
Минимална вредност							0,328	0,007	0,426	0,001
Максимална вредност							1,936	0,042	1,938	0,003
Средња аритметичка вредност							1,280	0,027	1,290	0,002

Табела 6.14. Процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку храпавости и леђно хабање за *Levenberg - Marquardt* алгоритам за конфирмационе експерименте.

Р.бр.	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra		VB	
							PE (%)	AE (mm)	PE (%)	AE (mm)
1	0,20	50	T	1,2	3	60	6,078	0,138	6,875	0,012
2	0,20	50	S	1,2	3	60	6,742	0,142	6,139	0,009
3	0,20	50	T	1,2	6	60	2,902	0,056	9,837	0,018
4	0,20	50	S	1,2	6	60	7,938	0,140	5,075	0,008
5	0,20	50	T	1,2	9	60	9,788	0,205	5,321	0,010
6	0,20	50	S	1,2	9	60	5,068	0,098	6,106	0,010
7	0,20	50	T	1,2	3	75	6,381	0,150	5,106	0,009
8	0,20	50	S	1,2	3	75	10,217	0,222	1,929	0,003
9	0,20	50	T	1,2	6	75	3,552	0,073	4,688	0,009
10	0,20	50	S	1,2	6	75	11,951	0,220	10,619	0,017
11	0,20	50	T	1,2	9	75	8,964	0,197	5,287	0,011
12	0,20	50	S	1,2	9	75	3,442	0,069	5,420	0,009
13	0,20	50	T	1,2	3	90	7,557	0,182	5,092	0,010
14	0,20	50	S	1,2	3	90	11,084	0,249	2,048	0,003
15	0,20	50	T	1,2	6	90	4,190	0,086	3,907	0,008
16	0,20	50	S	1,2	6	90	4,865	0,093	4,318	0,007
17	0,20	50	T	1,2	9	90	10,031	0,227	5,253	0,011
18	0,20	50	S	1,2	9	90	11,716	0,243	9,881	0,018
Минимална вредност							2,902	0,056	1,929	0,003
Максимална вредност							11,951	0,249	10,619	0,018
Средња аритметичка вредност							7,359	0,155	5,717	0,010

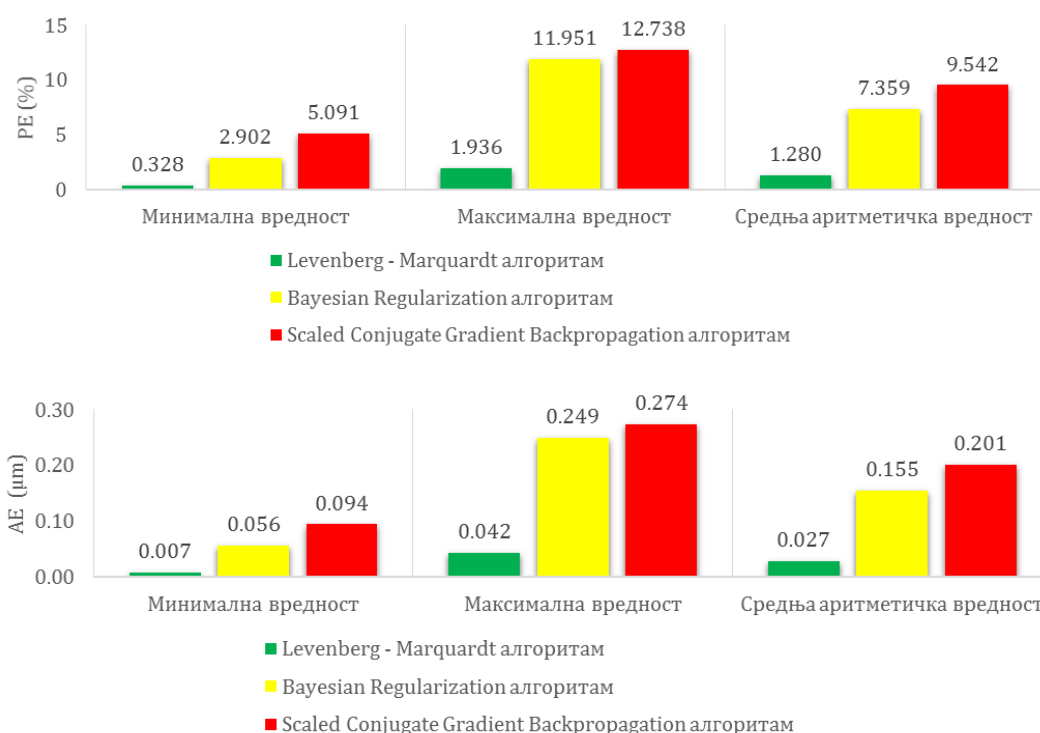
Табела 6.15. Процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку храпавости и леђно хабање за *Bayesian Regularization* алгоритам за конфирмационе експерименте.

Р.бр.	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra		VB	
							PE (%)	AE (mm)	PE (%)	AE (mm)
1	0,20	50	T	1,2	3	60	8,071	0,183	7,252	0,013
2	0,20	50	S	1,2	3	60	9,730	0,204	6,193	0,009
3	0,20	50	T	1,2	6	60	12,315	0,239	8,237	0,015
4	0,20	50	S	1,2	6	60	8,887	0,157	11,818	0,017
5	0,20	50	T	1,2	9	60	8,345	0,175	7,566	0,015
6	0,20	50	S	1,2	9	60	10,435	0,202	11,875	0,019
7	0,20	50	T	1,2	3	75	9,607	0,226	10,326	0,019
8	0,20	50	S	1,2	3	75	8,402	0,183	6,711	0,010
9	0,20	50	T	1,2	6	75	5,271	0,108	10,881	0,021
10	0,20	50	S	1,2	6	75	5,091	0,094	10,063	0,016
11	0,20	50	T	1,2	9	75	10,064	0,221	9,314	0,019
12	0,20	50	S	1,2	9	75	6,262	0,125	11,834	0,020
13	0,20	50	T	1,2	3	90	9,848	0,238	9,326	0,018

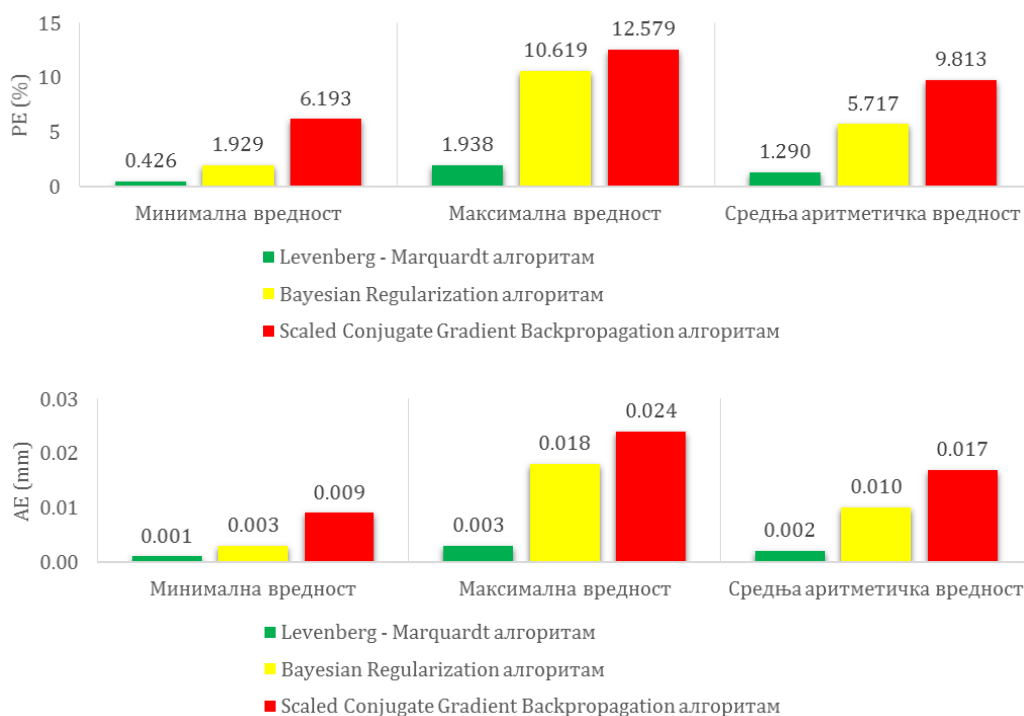
14	0,20	50	S	1,2	3	90	12,185	0,274	12,579	0,020
15	0,20	50	T	1,2	6	90	12,738	0,263	8,374	0,017
16	0,20	50	S	1,2	6	90	11,166	0,213	11,834	0,020
17	0,20	50	T	1,2	9	90	11,756	0,266	11,215	0,024
18	0,20	50	S	1,2	9	90	11,590	0,240	11,236	0,020
Минимална вредност							5,091	0,094	6,193	0,009
Максимална вредност							12,738	0,274	12,579	0,024
Средња аритметичка вредност							9,542	0,201	9,813	0,017

Табела 6.16. Процентуалне и апсолутне грешке за средњу аритметичку хртавости и леђно хабање за *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритам за конфигурационе експерименте.

Графичка интерпретација добијених минималних, максималних и средњих аритметичких вредности процентуалних и апсолутних грешки за средњу аритметичку хртавост и леђно хабање, за сва три алгоритма, приказана је на сликама 6.8 и 6.9. Са слика је уочљиво да се најмање минималне, максималне и средње аритметичке вредности за процентуалне и апсолутне грешке добијају за *Levenberg - Marquardt* алгоритам, а највеће вредности за *Scaled Conjugate Gradient Backpropagation* алгоритам, идентично као и током обуке, валидације и тестирања. Добијени резултати указују да *Levenberg - Marquardt* алгоритам предстаља алгоритам за обуку мреже који даје најповољније резултате.



Слика 6.8. Графичка интерпретација добијених минималних, максималних и средњих аритметичких вредности процентуалних и апсолутних грешки за средњу аритметичку хртавости за различите алгоритме за конфигурационе експерименте[83].



Слика 6.9. Графичка интерпретација добијених минималних, максималних и средњих аритметичких вредности процентуалних и апсолутних грешки за леђно хабање за различите алгоритме за конфигурационе експерименте [83].

На бази свеобухватне анализе резултата обуке, предикције и конфирмације може се констатовати да *Levenberg-Marquardt* алгоритам даје најбоље резултате. Стога ће се оптимизација процеса применом генетских алгоритама спровести управо по овом моделу.

7. ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКА ОПТИМИЗАЦИЈА ПРОЦЕСА

Вишекритеријумска оптимизација је погодна за решавање сложених проблема чије су појединачне функције циља конфликтне, тј. супротстављене једне другима.

За решавање вишекритеријумског оптимизационог проблема је употребљен генетски алгоритам. Генетски алгоритам је хеуристичка метода оптимизације и убраја се у методе усмереног случајног претраживања простора решења у потрази за глобалним оптимумом. Снага генетских алгоритама лежи у чињеници да су они способни да одреде положај глобалног оптимума у простору са више локалних екстрема, у тзв. вишемодалном простору. Класичне детерминистичке методе зависе у великој мери од почетног погађања и крећу се увек према локалном оптимуму (минимуму или максимуму), при чему он може бити и глобални, али се то не може видети из добијених резултата. Генетски алгоритми нису зависни од иницијалне позиције претраживања и својим поступком претраживања могу да лоцирају глобални оптимум одређене функције циља с великом вероватноћом. Математички модел представља основу за репродукцију, док алгоритам контролише процес репродукције и опстанак објеката који се надмећу у потрази за оптималним решењем. Алгоритам ради са скупом променљивих величина. На њих се примењују генетски оператори, а затим се врши њихова процена. Опстанак зависи од вредности коју ће ова функција вратити. Фаворизује се опстанак најјачих. Генетски оператори обезбеђују да потомци буду слични, али не и идентични са родитељима. На тај начин се популацији омогућава да еволуира до решења која нису била присутна у почетном скупу објеката. Овакав дистрибуирани, еволуциони приступ омогућава генетским алгоритмима да не упадну у замку локалних оптимума. Генетски алгоритми су у стању да идентификују решења блиска глобалним оптимумима или идентична са њима [4, 6, 59, 74].

Генетски алгоритми се широко користе у областима машинског учења, адаптивног управљања, комбинаторне оптимизације и обраде сигнала. Такође, генетски алгоритми имају добру способност глобалне претраге и сматрају се за једном од суштинских технологија које су повезане са савременим интелигентним прорачуном [4, 91]. Када је у питању примена генетских алгоритама у машинству, у најширем смислу, највише се могу срести код оптимизације режима обраде [17, 50, 70, 222, 233].

Holland [73] је истакао да је *Goldberg* [59] значајно допринео широкој примени генетских алгоритама показујући да се велики број проблема (задатака) у основи може решити применом генетских алгоритама. Према [18, 127] генетски алгоритми су веома популаран метод претраге и оптимизације који се примењују за решавање

веома комплексних проблема. Успех ових метода је доказан у областима које укључују приступе машинског учења.

Код генетског алгоритма, свака јединка x , која се у зависности од литературе назива се још и хромозомом, представља потенцијално решење проблема и имплементирана је као нека структура података. Јединка се састоји од једног или више гена. Код оптимизације функције више променљивих, јединка је тачка у простору решења, док је свака променљива, односно координата те тачке, представљена као један ген. Свака јединка има своју меру “прилагођености”, односно, у математичком смислу, вредност критеријума оптималности $f(x)$. Све јединке у једној итерацији чине популацију $P[k] = \{x_1[k], x_2[k], \dots, x_n[k]\}$, при чему k означава итерацију, а n број јединки у популацији. Стратегија генетског алгоритма подразумева мењање јединки из итерације у итерацију, које се у терминологији генетског алгоритма, по угледу на природну еволуцију, називају генерације, у циљу повећања њихове “прилагођености”, односно побољшања вредности критеријума оптималности. Притом се, као и у природној еволуцији, употребљавају основни еволуциони механизми, селекција, укрштање и мутација, које називамо операторима генетског алгоритма [89].

У оквиру ове докторске дисертације, јединку чини шест улазних параметара, док сваки улаз представља ген (помак, брзина резања, облик резне плочице, радијус врха, грудни и нападни угао).

Структура генетског алгоритма, односно псеудокод, приказана је на слици 7.1., док је дијаграм тока стандардног генетског алгоритма приказ на слици 7.2.

```

Генетски алгоритам
{
    t = 0
    генериши почетну популацију потенцијалних решења P (0);
    све док није задовољен услов завршетка еволуцијског процеса;
    {
        t = t+1;
        изврши селекцију Pt из P (t - 1);
        укрштање јединке из Pt и потомке пребаци у следећу популацију P(t);
        мутирај јединке из P(t);
    }
    Испиши решење;
}

```

Слика 7.1. Структура генетског алгоритма (псеудокод) [74].

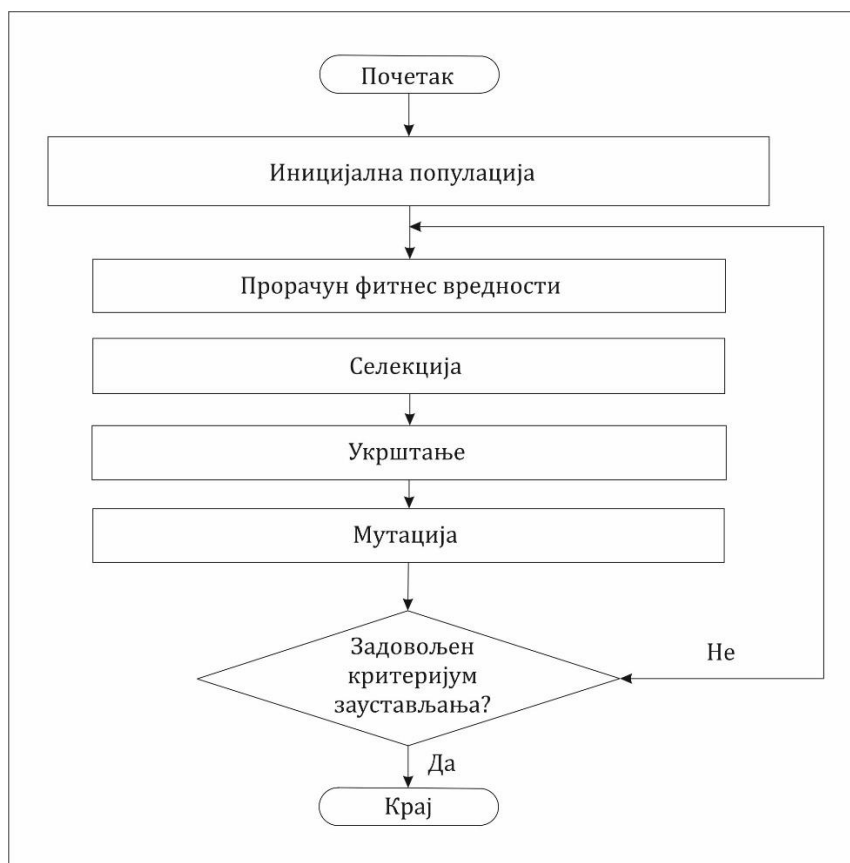
На почетку рада генетски алгоритам генерише одређен број потенцијалних решења у облику математичких структура, односно њихових кодираних репрезента – јединки. Тај скуп представља почетну популацију. За сваку јединку у популацији, помоћу функције прилагођености, односно критеријума оптималности, процењује се корисност решења које она представља. Затим се из скупа јединки, употребом оператора селекције, бирају оне које ће учествовати у процесу репродукције, при чему једна јединка може бити изабрана и више пута. Притом се, као и у природи, фаворизују

боље адаптиране јединке. Изабране јединке називају се родитељи. Поменути процес репродукције одвија се тако што се на две јединке, које су селекцијом изабране да буду родитељи, примењује оператор укрштања, на случајан начин, са задатом вероватноћом. Тако се комбинују особине родитељских структура, односно генетске информације јединки које те структуре представљају, и стварају нове јединке, које зовемо потомцима. Укрштањем се од два родитеља најчешће стварају два потомка. На добијене јединке се затим примењује оператор мутације, који делује тако да са одређеном, најчешће веома малом вероватноћом, на случајан начин, мења неки елемент (особину) структуре, односно неки ген јединке. Када се процесом репродукције створи довољан број потомака, они се убацују у популацију мењајући неке или све јединке старе популације. Тако се, генезом нове популације, завршава један циклус генетског алгорита. Описани процес се циклично понавља [89].

Као што је већ поменуто, јединка представља низ вредности променљивих које фигуришу у задатом критеријуму оптималности. Да би се омогућила примена оператора генетског алгорита, неопходно је ове вредности записати у одговарајућем математичком облику. Овај поступак назива се кодирање. Постоје генерално два начина за математичку репрезентацију, односно кодирање јединки код генетског алгорита: бинарно и реално кодирање [89]. У оквиру ове докторске дисертације користиће се реално кодирање уместо бинарног, због немогућности погодне репрезентације у бинарном формату.

Детаљан опис дијаграма тока, стандардног генетског алгорита, слика 7.2, описан је у наставку [4, 89, 109]:

- иницијална популација – Ово подразумева могуће решење за скуп P , односно низ случајних генерација реалних вредности $P = \{p1, p2, \dots\}$;
- евалуација (израчунава вредност фитнес функције) – Фитнес функција мора бити оцртана како би се проценила свака јединка у популацији, окарактерисан као $фитнес = g(P)$;
- селекција – Након израчунавања вредности фитнес функције, јединке су распоређене према фитнес вредностима. Затим се врши селекција родитеља која укључује два родитеља за укрштање и мутацију;
- генетски оператори – Када се процес селекције заврши, нове јединке родитеља или потомци ($C1, C2$) се стварају применом генетских оператора. Нове јединке ($C1, C2$) се затим чувају у популацији потомака C . Овај процес укључује операције укрштања и мутације. Операција укрштања се примењује за размену информација између два родитеља, која су раније изабрана. Током операције мутације, гени јединки укрштеног потомства се мењају;
- након завршетка селекције, укрштања и операције мутације, популација потомака C је потпуно генерисана и биће пребачена на следећу популацију P . Следећа популација P се затим користи у следећој итерацији, при чему се цео процес поново покреће. Итерације ће се зауставити ако дође до конвергенције резултата или ако број итерација пређе максимални праг.



Слика 7.2. Дијаграм тока стандардног генетског алгорита [74].

7.1. Оптимизација процеса

За оптимизацију процеса дефинисани су следећи улазни параметри помак (f), брзина резања (V_c), облик резне плочице (IS), радијус врха (r), грудни (γ) и нападни угао (κ), као и појединачне функције циља, и то: минимизација храпавости обрађене површине (Ra), минимизација хабања алата (VB) и максимизација стопе уклањања материјала (MRR). У складу са тим дефинисана је следећа функција циља [84]:

$$F_c = w_{Ra} \cdot \min x_{Ra} + w_{VB} \cdot \min x_{VB} + w_{MRR} \cdot \max x_{MRR} \quad (7.1)$$

где су: w_{Ra} , w_{VB} , w_{MRR} тежински коефицијенти, а x_{Ra} , x_{VB} , x_{MRR} нормализоване вредности излазних параметара процеса.

Нормализација вредности параметара је уобичајен поступак, чији је циљ да се поништи утицај апсолутних вредности параметара, које за различите параметре могу бити у веома различитим опсезима. Нормализоване вредности излазних параметара процеса се рачунају преко једначина [84]:

$$x_{Ra} = \frac{Ra - Ra_{min}}{Ra_{max} - Ra_{min}} \quad x_{VB} = \frac{VB - VB_{min}}{VB_{max} - VB_{min}} \quad x_{MRR} = \frac{MRR - MRR_{min}}{MRR_{max} - MRR_{min}} \quad (7.2)$$

Оптимизација приказаног критеријума имплементирана је у програмском пакету МАТЛАБ, у оквиру модула *Optimization Toolbox*. Одабрани параметри генетског алгорита су приказани у табели 7.1.

Параметар	Карактеристика
Тип података	Реални
Величина популације	100
Однос укрштања	0,8
Функција мутације	Зависи од ограничења
Функција укрштања	Зависи од ограничења
Правац миграције	Унапред
Однос миграције	0,2
Интервал миграције	20
Алгоритам за нелинеарна ограничења	Појачани Лагранжев
Почетни казнени фактор	10
Казнени фактор	100
Број генерација	50
Толеранција функције	10^{-6}
Толеранција ограничења	10^{-3}

Табела 7.1. Параметри оптимизације [84].

Такође, неопходно је дефинисати ограничења која ограничавају процес вишекритеријумске оптимизације на жељени изводљиви регион. Ова ограничења су дефинисана перформансама технолошке опреме (алатних машина и мерних инструмената), условима експерименталног истраживања и добијеним експерименталним резултатима. Вредности брзине резања и помака морају бити прилагођене машини алатки на којој је вршена обрада, а вредности радијуса врха, грудног угла и облик резне плочице морају бити прилагођени вредностима произвођача резног алата, док вредности нападног угла треба да буду прилагођени геометријским карактеристикама резних плочица и држача алата. Претходне констатације се односе на реалне производне услове. У идеалном случају вредности улазних параметара могу попримити било коју вредност из распона улазних информација под којима су спроведена експериментална истраживања. У складу са претходним, разликују се два случаја:

- реална ограничења [84]:
 - помак, $f_{i\text{opt}}$ (mm/obr); $f_{\min} \leq f_{i\text{opt}} \leq f_{\max}$; $0,15 \leq f_{i\text{opt}} \leq 0,25 \quad \forall i \in [1, \dots, n]$; континуални улазни параметар;
 - брзина резања, $v_{ci\text{opt}}$ (mm/min); $v_{c\min} \leq v_{ci\text{opt}} \leq v_{c\max}$; $40 \leq v_{ci\text{opt}} \leq 60 \quad \forall i \in [1, \dots, n]$; континуални улазни параметар;
 - облик резне плочице, $IS_{i\text{opt}}$; $IS_{\min} \leq IS_{i\text{opt}} \leq IS_{\max}$; $IS_{i\text{opt}} = T \vee S$; категорички улазни параметар;
 - радијус врха, $r_{i\text{opt}}$ (mm); $r_{\min} \leq r_{i\text{opt}} \leq r_{\max}$; $r_{i\text{opt}} = 0,4 \vee 0,8 \vee 1,2$; категорички улазни параметар;
 - грудни угао, $\gamma_{i\text{opt}}$ (°); $\gamma_{\min} \leq \gamma_{i\text{opt}} \leq \gamma_{\max}$; $\gamma_{i\text{opt}} = 3 \vee 6 \vee 9$; категорички улазни параметар;

- нападни угао, $K_{i\text{opt}}$ ($^{\circ}$); $K_{\text{imin}} \leq K_{i\text{opt}} \leq K_{\text{imax}}$; $K_{i\text{opt}} = 60 \vee 75 \vee 90$; категорички улазни параметар;
- идеална ограничења:
 - помак, $f_{i\text{opt}}$ (mm/obr); $f_{\text{min}} \leq f_{i\text{opt}} \leq f_{\text{max}}$; $0,15 \leq f_{i\text{opt}} \leq 0,25 \quad \forall i \in [1, \dots, n]$; континуални улазни параметар;
 - брзина резања, $v_{i\text{opt}}$ (mm/min); $v_{\text{cmin}} \leq v_{i\text{opt}} \leq v_{\text{cmax}}$; $40 \leq v_{i\text{opt}} \leq 60 \quad \forall i \in [1, \dots, n]$; континуални улазни параметар;
 - облик резне плочице, $IS_{i\text{opt}}$; $IS_{\text{imin}} \leq IS_{i\text{opt}} \leq IS_{\text{imax}}$; $IS_{i\text{opt}} = T \vee S \quad \forall i \in [1, \dots, n]$; категорички улазни параметар;
 - радијус врха, $r_{i\text{opt}}$ (mm); $r_{\text{imin}} \leq r_{i\text{opt}} \leq r_{\text{imax}}$; $0,4 \leq r_{i\text{opt}} \leq 1,2 \quad \forall i \in [1, \dots, n]$; континуални улазни параметар;
 - грудни угао, $\gamma_{i\text{opt}}$ ($^{\circ}$); $\gamma_{\text{imin}} \leq \gamma_{i\text{opt}} \leq \gamma_{\text{imax}}$; $3 \leq \gamma_{i\text{opt}} \leq 9 \quad \forall i \in [1, \dots, n]$; континуални улазни параметар;
 - нападни угао, $K_{i\text{opt}}$ ($^{\circ}$); $K_{\text{imin}} \leq K_{i\text{opt}} \leq K_{\text{imax}}$; $60 \leq K_{i\text{opt}} \leq 90 \quad \forall i \in [1, \dots, n]$; континуални улазни параметар.

Током вишекритеријумске оптимизације разматрана су четири случаја која се могу јавити у реалним производним условима:

- излазним параметрима је дата иста значајност ($w_{Ra}=0,33$, $w_{VB}=0,33$, $w_{MRR}=0,33$) - подједнако су битни храпавост обрађене површине (Ra), хабање алата (VB) и стопа уклањања материјала (MRR);
- излазним параметрима за храпавост обрађене површине (Ra) и хабање алата (VB) је дата иста значајност, а стопа уклањања материјала (MRR) је занемарена ($w_{Ra}=0,5$, $w_{VB}=0,5$, $w_{MRR}=0$) - случај када је битна храпавост обрађене површине и хабање алата а није битна стопа уклањања материјала (мале серије израде);
- излазним параметрима за храпавост обрађене површине (Ra) и стопу уклањања материјала (MRR) је дата иста значајност, а хабање алата (VB) је занемарено ($w_{Ra}=0,5$, $w_{VB}=0$, $w_{MRR}=0,5$) - случај када није битно хабање алата, а битна је храпавост обрађене површине и стопа уклањања материјала (веће серије и кратки рокови израде);
- излазним параметрима хабања алата (VB) и стопу уклањања материјала (MRR) је дата иста значајност, а храпавост обрађене површине (Ra) је занемарена ($w_{Ra}=0$, $w_{VB}=0,5$, $w_{MRR}=0,5$) - случај када није битна храпавост обрађене површине, а битно је хабање алата и производност (груба обрада, веће серије и кратки рокови израде).

7.2. Резултати оптимизације

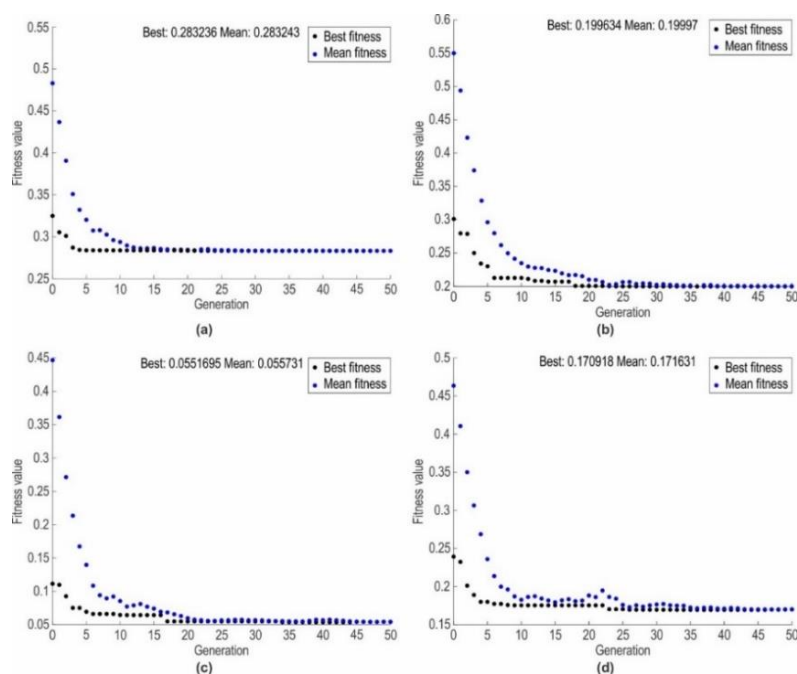
С обзиром на резултате предикције и конфирмације развијених АНН модела за оптимизацију је примењен модел базиран на *Levenberg-Marquardt* алгоритму.

Добијени резултати за различите вредности тежинских фактора су приказани у табелама 7.2 и 7.3, а конвергенције генетског алгоритма на сликама 7.3 и 7.4 за реалне и идеалне вредности улазних параметара, респективно. Разлика између

результата приказаних у табелама и сликама јесте у томе што су идеалне вредности добијене без реалних ограничења, тј. све улазне промењиве (осим облика резне плочице) су третиране као континуалне вредности (могу да поприме било коју вредност у оквиру задатих ограничења). Добијени резултати указују да између реалних и теоретских вредности постоје минимална одступања. Одступања се јављају само код грудног угла, док су остали улазни параметри на идентичном или скоро идентичном нивоу.

Р. бр.	Тежински фактори	Реални параметри		
		Улазни	Изразни	
1	$w_{Ra}=0,33$ $w_{VB}=0,33$ $w_{MRR}=0,33$	$v_c = 56 \text{ mm/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/obr}$ $IS = S$	$r = 1,2 \text{ mm}$ $\gamma = 6^\circ$ $\kappa = 60^\circ$	$Ra = 2,608 \mu\text{m}$ $VB = 0,180 \text{ mm}$ $MRR = 21 \text{ mm}^3/\text{min}$
2	$w_{Ra}=0,5$ $w_{VB}=0,5$ $w_{MRR}=0$	$v_c = 40 \text{ mm/min}$ $f = 0,15 \text{ mm/obr}$ $IS = S$	$r = 1,2 \text{ mm}$ $\gamma = 6^\circ$ $\kappa = 60^\circ$	$Ra = 0,818 \mu\text{m}$ $VB = 0,129 \text{ mm}$ $MRR = 9 \text{ mm}^3/\text{min}$
3	$w_{Ra}=0,5$ $w_{VB}=0$ $w_{MRR}=0,5$	$v_c = 60 \text{ mm/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/obr}$ $IS = S$	$r = 1,2 \text{ mm}$ $\gamma = 6^\circ$ $\kappa = 60^\circ$	$Ra = 2,305 \mu\text{m}$ $VB = 0,233 \text{ mm}$ $MRR = 22,5 \text{ mm}^3/\text{min}$
4	$w_{Ra}=0$ $w_{VB}=0,5$ $w_{MRR}=0,5$	$v_c = 55 \text{ mm/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/obr}$ $IS = S$	$r = 1,2 \text{ mm}$ $\gamma = 3^\circ$ $\kappa = 60^\circ$	$Ra = 2,986 \mu\text{m}$ $VB = 0,163 \text{ mm}$ $MRR = 20,63 \text{ mm}^3/\text{min}$

Табела 7.2. Оптималне вредности улазних и излазних параметара за реалне вредности улазних параметара [84].

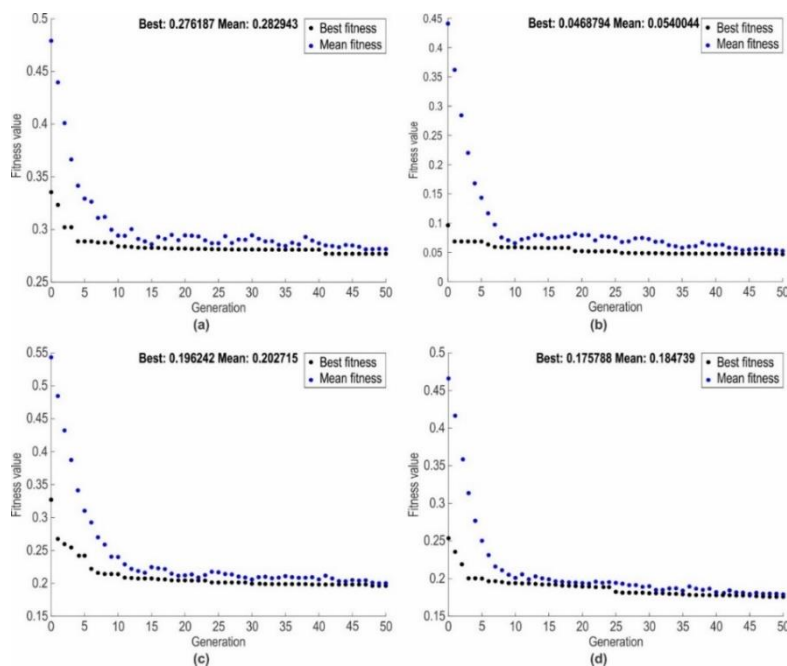


Слика 7.3. Примери конвергенције генетског алгоритма за реалне вредности улазних параметара

(a) $w_{Ra}=0,33, w_{VB}=0,33, w_{MRR}=0,33$, (b) $w_{Ra}=0,5, w_{VB}=0,5, w_{MRR}=0$, (c) $w_{Ra}=0,5, w_{VB}=0, w_{MRR}=0,5$; (d) $w_{Ra}=0, w_{VB}=0,5, w_{MRR}=0,5$ [84].

Р. бр.	Тежински фактори	Теоретски параметри		
		Улазни		Изразни
1	$w_{Ra}=0,33$ $w_{VB}=0,33$ $w_{MRR}=0,33$	$v_c = 56 \text{ mm/min}$ $f = 0,24 \text{ mm/obr}$ $IS = S$	$r = 1,2 \text{ mm}$ $\gamma = 4,3^\circ$ $\kappa = 60^\circ$	$Ra = 2,537 \mu\text{m}$ $VB = 0,174 \text{ mm}$ $MRR = 20,2 \text{ mm}^3/\text{min}$
2	$w_{Ra}=0,5$ $w_{VB}=0,5$ $w_{MRR}=0$	$v_c = 40 \text{ mm/min}$ $f = 0,15 \text{ mm/obr}$ $IS = S$	$r = 1,2 \text{ mm}$ $\gamma = 4,4^\circ$ $\kappa = 60^\circ$	$Ra = 0,803 \mu\text{m}$ $VB = 0,124 \text{ mm}$ $MRR = 9 \text{ mm}^3/\text{min}$
3	$w_{Ra}=0,5$ $w_{VB}=0$ $w_{MRR}=0,5$	$v_c = 60 \text{ mm/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/obr}$ $IS = S$	$r = 1,2 \text{ mm}$ $\gamma = 4,6^\circ$ $\kappa = 60^\circ$	$Ra = 2,252 \mu\text{m}$ $VB = 0,229 \text{ mm}$ $MRR = 22,5 \text{ mm}^3/\text{min}$
4	$w_{Ra}=0$ $w_{VB}=0,5$ $w_{MRR}=0,5$	$v_c = 55 \text{ mm/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/obr}$ $IS = S$	$r = 1,2 \text{ mm}$ $\gamma = 3^\circ$ $\kappa = 60^\circ$	$Ra = 2,986 \mu\text{m}$ $VB = 0,163 \text{ mm}$ $MRR = 20,63 \text{ mm}^3/\text{min}$

Табела 7.3. Оптималне вредности улазних и изразних параметара за теоретске вредности улазних параметара.



Слика 7.4. Примери конвергенције генетског алгоритма за теоретске вредности улазних параметара

(a) $w_{Ra}=0,33$, $w_{VB}=0,33$, $w_{MRR}=0,33$, (b) $w_{Ra}=0,5$, $w_{VB}=0,5$, $w_{MRR}=0$, (c) $w_{Ra}=0,5$, $w_{VB}=0$, $w_{MRR}=0,5$; (d) $w_{Ra}=0$, $w_{VB}=0,5$, $w_{MRR}=0,5$.

7.3. Резултати конфирмације

За реалне оптималне улазне параметре извршени су додатни конфирмациони експерименти. Добијени резултати су приказани у табели 7.4, а израчунате процентуалне и апсолутне грешке у табели 7.5.

Р. бр.	Тежински коефицијенти	Оптимални улазни параметри	Изразни параметри	
			Оптимални	Мерени/израчунати
1	$w_{Ra}=0,33$ $w_{VB}=0,33$ $w_{MRR}=0,33$	$v_c = 56 \text{ mm/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/obr}$ $IS = S$ $r = 1,2 \text{ mm}$ $\gamma = 6^\circ$ $\kappa = 60^\circ$	$Ra = 2,608 \mu\text{m}$ $VB = 0,180 \text{ mm}$ $MRR = 21 \text{ mm}^3/\text{min}$	$Ra = 2,635 \mu\text{m}$ $VB = 0,183 \text{ mm}$ $MRR = 21 \text{ mm}^3/\text{min}$
2	$w_{Ra}=0,5$ $w_{VB}=0,5$ $w_{MRR}=0$	$v_c = 40 \text{ mm/min}$ $f = 0,15 \text{ mm/obr}$ $IS = S$ $r = 1,2 \text{ mm}$ $\gamma = 6^\circ$ $\kappa = 60^\circ$	$Ra = 0,818 \mu\text{m}$ $VB = 0,129 \text{ mm}$ $MRR = 9 \text{ mm}^3/\text{min}$	$Ra = 0,809 \mu\text{m}$ $VB = 0,131 \text{ mm}$ $MRR = 9 \text{ mm}^3/\text{min}$
3	$w_{Ra}=0,5$ $w_{VB}=0$ $w_{MRR}=0,5$	$v_c = 60 \text{ mm/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/obr}$ $IS = S$ $r = 1,2 \text{ mm}$ $\gamma = 6^\circ$ $\kappa = 60^\circ$	$Ra = 2,305 \mu\text{m}$ $VB = 0,233 \text{ mm}$ $MRR = 22,5 \text{ mm}^3/\text{min}$	$Ra = 2,311 \mu\text{m}$ $VB = 0,237 \text{ mm}$ $MRR = 22,5 \text{ mm}^3/\text{min}$
4	$w_{Ra}=0$ $w_{VB}=0,5$ $w_{MRR}=0,5$	$v_c = 55 \text{ mm/min}$ $f = 0,25 \text{ mm/obr}$ $IS = S$ $r = 1,2 \text{ mm}$ $\gamma = 3^\circ$ $\kappa = 60^\circ$	$Ra = 2,986 \mu\text{m}$ $VB = 0,163 \text{ mm}$ $MRR = 20,63 \text{ mm}^3/\text{min}$	$Ra = 3,008 \mu\text{m}$ $VB = 0,166 \text{ mm}$ $MRR = 20,63 \text{ mm}^3/\text{min}$

Табела 7.4. Компарација оптималних и измерених излазних параметара [84].

Вредности измерених излазних параметара су блиске оптималним вредностима. Вредности процентуалних грешака за средњу аритметичку храпавост обрађене површине се крећу у распону од 0,260 до 1,112 %, а са овим процентуалним грешкама кореспондирају вредности апсолутних грешки у распону од 0,006 - 0,027 μm . Вредности проценталних грешки за леђно хабање се крећу у распону од 1,527 до 1,807%, а са овим процентуалним грешкама кореспондирају вредности апсолутних грешки у распону од 0,002 - 0,024 mm. Добијене апсолутне грешке које су за средњу аритметичку храпавост максималног реда величине неколико стотих делова микрометра, а за леђно хабање максималног реда величине неколико стотих делова милиметра, што је за практичне услове занемарљива вредност, указују на могућност практичне примене развијене методологије у реалним производним системима.

Р. бр.	f (mm/obr)	v_c (mm/min)	IS	r (mm)	γ (°)	κ (°)	Ra		VB	
							PE (%)	AE (μm)	PE (μm)	AE (mm)
1	0,25	56	S	1,2	6	60	1,025	0,027	1,639	0,003
2	0,15	40	S	1,2	6	60	1,112	0,009	1,527	0,002
3	0,25	60	S	1,2	6	60	0,260	0,006	1,688	0,004
4	0,25	55	S	1,2	3	60	0,731	0,022	1,807	0,003
Минимална вредност							0,260	0,006	1,527	0,002
Максимална вредност							1,112	0,027	1,807	0,004
Средња аритметичка вредност							0,782	0,016	1,665	0,003

Табела 7.5. Процентуалне и апсолутне грешке измерених излазних параметара [84].

8. ДИСКУСИЈА

Сprovedена истраживања у потпуности су потврдила постављене научне хипотезе, и то:

- Резултати експерименталних истраживања и статистичке обраде измерених резултата су показали да постоји међусобна функционална зависност између перформанси резних плочица и параметара обраде, са једне стране, и постојаности алата, квалитета обрађене површине и стопе уклањања материјала након операције обраде стругањем, са друге стране.
- Резултати предикције и конфирмације развијених АНН модела су показали да је могуће извршити моделирање хабања алата и квалитета обрађене површине у зависности од перформанси резних плочица и параметара обраде.
- Резултати оптимизације и конфирмације су показали да је могуће извршити оптимизацију процеса обраде стругањем, са становишта интегралног утицаја на квалитет обрађене површине, хабање алата и стопе уклањања материјала, по различитим основама, са адекватним избором перформанси резних плочица и параметара обраде.

Са повећањем помака повећава се храпавост обрађене површине и хабање алата, и обрнуто. При повећању помака на површини обрадка се добијају шира удубљења и врхови што утиче на повећање храпавости обрађене површине. Повећање помака утиче на повећање сила резања, а то пропорционално утиче на повећање хабања алата.

Са повећањем брзине резања смањује се храпавост обрађене површине и повећава хабање алата, и обрнуто. При повећању брзине резања долази до повећања температуре резања. Последица повећања температуре је веће хабање алата. При томе хабање алата није достигло критичан ниво тако да не утиче негативно на храпавост обрађене површине тј. на повећање храпавости обрађене површине.

Квадратни облик резне плочице генерише мању храпавост обрађене површине и мање хабање алата. Квадратни облик резне плочице има већу чврстоћу у односу на троугаони облик, и стога утиче на смањење хабања алата и храпавости обрађене површине.

Са повећањем радијуса врха смањује се храпавост обрађене површине и хабање алата, и обрнуто. При повећању радијуса врха на површини обрадка добијају се нижа удубљења и врхови што утиче на смањење храпавости обрађене површине. При већим радијусима врха повећава се дужина контакта између резног алата и обрадка.

Последица тога јесте распршивање топлоте на већу површину и смањење концентрисаног хабања алата, што доприноси смањеном леђном хабању алата.

Са повећањем грудног угла повећава се хабање алата, док се храпавост обрађене површине прво смањује, а потом, са даљим повећањем грудног угла повећава. Повећање грудног угла проузрокује слабљење резног клина тј. смањење чврстоће резне плочице што има за последицу повећање хабања алата. Са повећањем грудног угла смањују се силе резања услед већег угла смицања па алат лакше продире у обрадак што доприноси смањењу хабања алата док се не достигне одређена критична температура у зони резања. Са даљим повећањем грудног угла услед веће температуре у зони резања и смањења чврстоће резне плочице долази до погоршања хабања алата.

Са повећањем нападног угла смањује се храпавост обрађене површине и повећава хабање алата. При повећању нападног угла повећава се ширина струготине услед повећања укупне дужине сечива. То доприноси побољшаном одвођењу топлоте из зоне резања што има за последицу смањење хабања алата, а самим тим и храпавости обрађене површине.

Добијени резултати оптимизације указују да без обзира на значајност појединих излазних параметара три улазна параметра су увек идентична, и то: облик резне плочице (квадратни), радијус врха резне плочице (максималан ниво) и нападни угао (минимални ниво). Ово је последица тога што се квадратне резне плочице при мањем нападном углу и са већим радијусом врха спорије хабају и истовремено генеришу површину мање храпавости, а не утичу на количину скинутог материјала у јединици времена. Остали улазни параметри варирају од случаја до случаја.

У првом случају ($w_{Ra}=0,33$, $w_{VB}=0,33$, $w_{MMR}=0,33$) помак је на максималном нивоу ($f = 0,25 \text{ mm/obr}$), брзина резања је блиска максималном нивоу ($v_c = 56 \text{ mm/min}$), а грудни угао је на средњем нивоу ($\gamma = 6^\circ$). То је последица тога што брзина резања и помак директно пропорционално утичу на повећање стопе уклањања материјала (MRR). Брзина резања има мали утицај на храпавост обрађене површине (Ra), а значајан на хабање алата (VB) али је њен утицај компромисно компензован са осталим улазним параметрима (облик резне плочице $IS = S$, радијус врха $r = 1,2 \text{ mm}$, грудни угао $\gamma = 6^\circ$, нападни угао $\kappa = 60^\circ$) који имају позитиван утицај на хабање резне плочице (VB). Помак има мали утицај на хабање алата (VB), а значајан на храпавост обрађене површине (Ra) али је његов утицај компромисно компензован са осталим улазних параметрима (облик резне плочице $IS = S$, радијус врха $r = 1,2 \text{ mm}$, нападни угао $\kappa = 60^\circ$) који имају позитиван утицај на храпавост обрађене површине (Ra). Средњи ниво грудног угла ($\gamma = 6^\circ$) генерише најмању храпавост обрађене површине (Ra).

У другом случају ($w_{Ra}=0,5$, $w_{VB}=0,5$, $w_{MMR}=0$) брзина резања ($v_c = 40 \text{ mm/min}$) и помак ($f = 0,15 \text{ mm/obr}$) су на минималном нивоу, а грудни угао на средњем нивоу ($\gamma = 6^\circ$). То је последица тога што је у овом случају најмања храпавост обрађене површине (Ra) и хабање алата (VB).

У трећем случају ($w_{Ra}=0,5$, $w_{VB}=0$, $w_{MMR}=0,5$) помак ($f = 0,25 \text{ mm/obr}$) и брзина резања ($v_c = 60 \text{ mm/min}$) су на максималном нивоу, а грудни угао је на средњем нивоу ($\gamma = 6^\circ$). То је последица тога што брзина резања и помак директно пропорционално утичу на повећање стопе уклањања материјала (MRR). Брзина резања има мали утицај на храпавост обрађене површине (Ra). Помак има значајан утицај на храпавост обрађене површине (Ra) али је његов утицај компромисно компензован са осталим улазним параметрима (облик резне плочице $IS = S$, радијус врха $r = 1,2 \text{ mm}$, грудни угао $\gamma = 6^\circ$, нападни угао $\kappa = 60^\circ$) који имају позитиван утицај на храпавост обрађене површине (Ra). Средњи ниво грудног угла ($\gamma = 6^\circ$) генерише најмању храпавост обрађене површине (Ra).

У четвртом случају ($w_{Ra}=0$, $w_{VB}=0,5$, $w_{MMR}=0,5$) помак је на максималном нивоу ($f = 0,25 \text{ mm/obr}$), брзина резања ($v_c = 55 \text{ mm/min}$) је блиска максималном нивоу, а грудни угао је на минималном нивоу ($\gamma = 3^\circ$). То је последица тога што брзина резања и помак директно пропорционално утичу на повећање стопе уклањања материјала (MRR). Помак има мали утицај на хабање алата (VB). Брзина резања има значајан утицај на хабање алата (VB) али је њен утицај компромисно компензован са осталим улазним параметрима (облик резне плочице $IS = S$, радијус врха $r = 1,2 \text{ mm}$, грудни угао $\gamma = 3^\circ$, нападни угао $\kappa = 60^\circ$) који имају позитиван утицај на хабање алата (VB). Мањи грудни угао ($\gamma = 3^\circ$) смањује хабање резне плочице (VB).

9. ЗАКЉУЧЦИ

Избор параметара обраде и геометрије резних плочица је сложен процес који, уколико се желе добити добри резултати, изискује од пројектанта велико знање и искуство. Због тога је оптимизација њиховог избора изазован задатак у производним системима.

Истраживања приказана у дисертацији дала су допринос теорији и пракси у области моделирања и оптимизација параметара обраде и геометрије резних плочица. Карактерише их оригиналан приступ у погледу примењене методологије за долазак до постављених циљева, у постављеној концепцији и у погледу реализованог решења.

У истраживању је извршено моделирање и оптимизација параметара и геометрије резних плочица са становишта квалитета обрађене површине (средња аритметичка храпавост површине), постојаности резног алата (леђно хабање) и производности (стопа уклањања материјала).

Са погодним избором улазних параметара обраде могу се добити вредности излазних параметара у широким распоним, и то: за храпавост површине $Ra = 0,586 - 4,883 \mu\text{m}$, за леђно хабање $VB = 0,119 - 0,341 \text{ mm}$ и за стопу уклањања материјала $MRR = 9 - 22,5 \text{ mm}^3/\text{мин}$. Ово је веома битно са становишта практичне примене када је потребно добити захтеване излазне параметре.

На основу добијених резултата могу се извући неки општи закључци:

- повећање помака утиче позитивно на стопу уклањања материјала (MRR), а негативно на храпавост површине (Ra) и леђно хабање (VB);
- повећање брзине резања утиче позитивно на стопу уклањања материјала (MRR) и храпавост површине (Ra), а негативно на леђно хабање (VB);
- квадратни облик резне плочице утиче позитивно на храпавост површине (Ra) и леђно хабање (VB);
- повећање радијуса резне плочице утиче позитивно на храпавост површине (Ra) и леђно хабање (VB);
- повећање нападног угла утиче негативно на храпавост површине (Ra) и леђно хабање (VB);
- повећање грудног угла утиче негативно на леђно хабање (VB), а прво позитивно па потом негативно на храпавост површине (Ra).

Оптималне комбинације улазних параметара процеса варирају од захтева дефинисаних значаја излазних параметара процеса. За различите односе значаја квалитета обрађене површине, постојаности алата и продуктивности добијају се различите комбинације оптималних улазних параметара. Добијени резултати указују да је обраду погодно извести са већим радијусима и квадратним обликом резних плочица, као и са мањим нападним углом, без обзира на остале захтеве производње.

Процентуалне грешке оптимизације се крећу у распону 0,260 - 1,112 % за хрпавост површине (Ra) и у распону од 1,527 - 1,807 % за леђно хабање (VB). Са овим процентуалним грешкама коореспондирају апсолутне грешке у распону 0,006 - 0,027 μm за хрпавост површине (Ra) и у распону 0,002 - 0,004 mm за леђно хабање (VB). Вредности добијених грешака су мале и указују на могућност практичне имплементације приказане методологије у реалним производном окружењу.

Развијено решење за оптимизацију процеса стругања легуре инконел омогућава да се, у оквиру припреме производње, дође до адекватних улазних параметара и изабери, за дате услове, одговарајући резни алати чиме се утиче на подизање техно-економских излазних ефеката укупног процеса производње.

Треба напоменути да истраживање има и одређена ограничења на основу чега се могу дефинисати будућа истраживања. Добијени резултати се могу применити на распоне под којима су извршени експерименти. У циљу добијања веће универзалности развијеног модела планирана су експериментална истраживања на радним предметима другачијих механичких, физичких и термичких карактеристика, као и са алатима које карактеришу другачије геометријске и технолошке карактеристике. Такође, правци будућих истраживања биће усмерени на моделирање и оптимизацију већег броја варијабли, тј. на укључивање у модел већег броја улазних параметара (леђног угла, угла нагиба, итд.) и излазних параметара процеса (тврдоћа обрадка, заостали напони у површинском слоју обрадка, итд.) са другим методама моделирања и оптимизације. На послетку, у будућим истраживањима је планирано испитивање механизма хабања, морфологије струготине, итд.

Из приложеног се може видети да је остало још много простора за истраживања у подручју моделирање и оптимизација параметара обраде и геометрије резних плочица. Може се очекивати да ће нови приступи бити засновани на неалгоритамском програмирању и методама вештачке интелигенције чиме би требало да се створе услови за опште унапређење аутоматизације пројектовања и производње у целини. Посебна пажња мора се посветити томе да развијни системи буду у што већој мери интегрални, универзални, конзистентни, флексибилни, једноставни, интуитивни, итд. Изналажење ефикасног решења универзалног карактера, које би било примењиво на широк спектар операција обраде и типских захвата, још увек је само делимично решив проблем. Будући да рачунари у погледу капацитета, меморије, брзине и квалитета рада значајно премашују људске способности, аутоматизација обезбеђује битно скраћење процеса, добијање квалитетнијих решења, као и смањење

укупних трошкова. Иако се интелигентни системи стално развијају, још увек се не може говорити о генералном решењу проблема. Разлог лежи у чињеници да су процеси машинске обраде врло комплексни и да зависе од великог броја параметара које је потребно узети у обзир.

10. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Airao, J., Nirala, C.K., Khanna, N.: Novel use of ultrasonic-assisted turning in conjunction with cryogenic and lubrication techniques to analyse the machinability of Inconel 718, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 81, pp. 962-975, DOI: 10.1016/j.jmapro.2022.07.052, 2022.
- [2] Akgün, M., Demir, H.: Optimization of Cutting Parameters Affecting Surface Roughness in Turning of Inconel 625 Superalloys by Cryogenically Treated Tungsten Carbide Inserts, *SN Applied Sciences*, Vol. 3, Ho. 2, Art. No. 277, DOI: 10.1007/s42452-021-04303-2, 2021.
- [3] Akhyar Ibrahim, G., Che Haron, C.H., Abdul Ghani, J., Said, A.Y.M., Abu Yazid, M.Z.: Performance of PVD-coated carbide tools when turning Inconel 718 in dry machining, *Advances in Mechanical Engineering*, Art. No. 790975, DOI: 10.1155/2011/790975, 2011.
- [4] Albadr, M.A., Tiun, S., Ayob, M., AL-Dhief, F.: Genetic Algorithm Based on Natural Selection Theory for Optimization Problems, *Symmetry*, Vol. 12, Article No. 1758. DOI: 10.3390/sym12111758, 2020
- [5] Allu, V.P., Raju, D.L., Ramakrishna, S.: Performance analysis of cryogenically treated plus tempered carbide inserts in turning of Inconel 718 using cryogenic minimum quantity lubrication cooling technique, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, Vol. 233, No. 12, pp. 1810-1819, DOI: 10.1177/1350650119845744, 2019.
- [6] Amigo, F.J., Urbikain, G., Pereira, O., Fernández-Lucio, P., Fernández-Valdivielso, A., de Lacalle, L.N.L.: Combination of high feed turning with cryogenic cooling on Haynes 263 and Inconel 718 superalloys, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 58, pp. 208-222, DOI: 10.1016/j.jmapro.2020.08.029, 2020.
- [7] Amini, S., Fatemi, M.H., Atefi, R.: High speed turning of inconel 718 using ceramic and carbide cutting tools, *Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 39 No. 3, Art. No. A071, pp. 2323-2330, DOI: 10.1007/s13369-013-0776-x, 2012.
- [8] Arrazola, P.-J., Garay, A., Fernandez, E., Ostolaza, K.: Correlation between tool flank wear, force signals and surface integrity when turning bars of Inconel 718 in finishing conditions, *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, Vol. 15 No. 1-2, pp. 84-100, DOI: 10.1504/IJMMM.2014.059193, 2014.
- [9] Aruna, M., Dhanalakshmi, V.: Optimisation of turning parameters of Inconel 718 alloy using RSM, *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, Vol. 25 No. 1-3, pp. 113-134, 2012.
- [10] Aruna, M., Dhanalakshmi, V.: Response surface methodology in finish turning Inconel 718. *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 2, No. 9, pp.4292-4297, 2010.

- [11] Asokan, P., Senthilkumaar, J.S.: Intelligent selection of machining parameters in turning of inconel-718 using multi objective optimisation coupled with MADM, International Journal of Machining and Machinability of Materials, Vol. 8, No. 1-2, pp. 209-225, DOI: 10.1504/IJMMM.2010.034497, 2010.
- [12] Attia, H., Tavakoli, S., Vargas, R., Thomson, V.: Laser-assisted high-speed finish turning of superalloy Inconel 718 under dry conditions, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 59, No. 1, pp. 83-88, DOI: 10.1016/j.cirp.2010.03.093, 2010.
- [13] Badrroush, N., Che Haron, C.H., Ghani, J.A., Azhar, M.F., Abdul Halim, N.H.: Performance of coated carbide tools when turning Inconel alloy 718 under cryogenic condition using RSM, Journal of Mechanical Engineering, Vol. 5, pp. 73-87, 2018.
- [14] Bayesian Regularization Backpropagation, MathWorks, <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainbr.html>, pristupljeno: 28 oktobra 2023.
- [15] Bergs, T., Splettstößer, A., Schraknepper, D.: Pulsating high-pressure cutting fluid supply for chip control in finish turning of inconel 718, MM Science Journal, pp. 3200-3205, DOI: 10.17973/MMSJ.2019_11_2019071, 2019.
- [16] Bhatt, A., Attia, H., Vargas, R., Thomson, V.: Wear mechanisms of WC coated and uncoated tools in finish turning of Inconel 718, Tribology International, Vol. 43, No. 5-6, pp. 1113-1121, DOI: 10.1016/j.triboint.2009.12.053, 2010.
- [17] Bhoskar, Ms. T., Kulkarni, Mr. O. K., Kulkarni, Mr. N. K., Patekar, Ms. S. L., Kakandikar, G. M., Nandedkar, V. M.: Genetic Algorithm and its Applications to Mechanical Engineering: A Review, Materials Today: Proceedings, Vol. 2, No. 4-5, pp. 2624-2630, DOI: 10.1016/j.matpr.2015.07.219, 2015.
- [18] Bi, C.: Deterministic local alignment methods improved by a simple genetic algorithm, Neurocomputing, Vol. 73, pp. 2394-2406, DOI: 10.1016/j.neucom.2010.01.023, 2010.
- [19] Boumaza, H., Belhadi, S., Yallese, M.A., Safi, K., Haddad, A.: Optimization of surface roughness, tool wear and material removal rate in turning of Inconel 718 with ceramic composite tools using MCDM methods based on Taguchi methodology, Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences, Vol. 48, No. 1, Art. No. 1, DOI: 10.1007/s12046-022-02060-5, 2023.
- [20] Buddaraju, K.M., Ravi Kiran Sastry, G., Kosaraju, S.: A review on turning of Inconel alloys, Materials Today: Proceedings, Vol. 44, pp. 2645-2652, DOI: 10.1016/j.matpr.2020.12.673, 2021.
- [21] Bushlya, V., Gutnichenko, O., Zhou, J., Avdovic, P., Ståhl, J.-E.: Effects of cutting speed when turning age hardened inconel 718 with PCBN tools of binderless and low-CBN grades, Machining Science and Technology, Vol. 17, No. 4, pp. 497-523, DOI: 10.1080/10910344.2013.806105, 2013.

- [22] Bushlya, V., Zhou, J., Avdovic, P., Stahl, J.-E.: Performance and wear mechanisms of whisker-reinforced alumina, coated and uncoated PCBN tools when high-speed turning aged Inconel 718, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 66, No. 9-12, pp. 2013-2021, DOI: 10.1007/s00170-012-4477-5, 2013.
- [23] Bushlya, V., Zhou, J., Ståhl, J.E.: Effect of cutting conditions on machinability of superalloy inconel 718 during high speed turning with coated and uncoated PCBN tools, *Procedia CIRP*, Vol. 3, No. 1, pp. 370-375, DOI: 10.1016/j.procir.2012.07.064, 2012.
- [24] Campocasso, S., Costes, J.P., Poulachon, G., Perez Duarte, A.: Cutting forces modeling in finish turning of inconel 718 alloy with round inserts, *Advanced Materials Research*, Vol. 223, pp. 75-84, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.223.75, 2011.
- [25] Cantero, J.L., Díaz-Álvarez, J., Infante-García, D., Rodríguez, M., Criado, V.: High speed finish turning of inconel 718 using PCBN tools under dry conditions, *Metals*, Vol. 8, No. 3, Art. No. 192, DOI: 10.3390/met8030192, 2018.
- [26] Cantero, J.L., Díaz-Álvarez, J., Miguélez, M.H., Marín, N.C.: Analysis of tool wear patterns in finishing turning of Inconel 718, *Wear*, Vol. 297, No. 1-2, pp. 885-894, DOI: 10.1016/j.wear.2012.11.004, 2013.
- [27] Capasso, S., Paiva, J.M., Junior, E.L., Settineri, L., Yamamoto, K., Amorim, F.L., Torres, R.D., Covelli, D., Fox-Rabinovich, G., Veldhuis, S.: A novel method of assessing and predicting coated cutting tool wear during Inconel DA 718 turning, *Wear*, Vol. 432-433, Art. No. 202949, DOI: 10.1016/j.wear.2019.202949, 2019.
- [28] Chaabani, S., Arrazola, P.J., Ayed, Y., Madariaga, A., Tidu, A., Germain, G.: Comparison between cryogenic coolants effect on tool wear and surface integrity in finishing turning of Inconel 718, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 285, Art. No. 116780, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2020.116780, 2020.
- [29] Chandrasekaran, M., Muralidhar, M., Krishna, C. M., Dixit, U.S.: Application of soft computing techniques in machining performance prediction and optimization: a literature obriew. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 46, pp. 445-464, DOI:10.1007/s00170-009-2104-x, 2010.
- [30] Chaurasia, A., Wankhede, V., Chaudhari, R.: Experimental investigation of high-speed turning of Inconel 718 using PVD-coated carbide tool under wet condition, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 757, pp. 367-374, DOI: 10.1007/978-981-13-1966-2_32, 2019.
- [31] Chen, D.-Y., Tsao, C.-C., Lin, M.-Y., Tsai, C.-H., Hsu, C.-Y.: Ultrasonic-assisted on the turning of Inconel 718 by Taguchi method, *Advanced Materials Research*, Vol. 579, pp. 160-173, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.579.160, 2012.
- [32] Cheng, X., Liu, Q., Wang, N., Jiang, F.: Optimization of the cutting edge geometrical parameters based on finite element simulation of turning Inconel 718, *Journal of Mechanical Strength*, Vol. 37, No. 4, pp. 754-760, 2015.

- [33] Chethan, Y.D., Ravindra, H.V., Gowda, Y.T., Bharath Kumar, S. Machine Vision for Tool Status Monitoring in Turning Inconel 718 using Blob Analysis, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 2, No. 4-5, pp. 1841-1848, DOI: 10.1016/j.matpr.2015.07.124, 2015.
- [34] Coelho, R.T., Silva, L.R., Braghini Jr., Bezerra, A.A.: Some effects of cutting edge preparation and geometric modifications when turning Inconel 718 at high cutting speeds, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 148, No. 1, pp. 147-153, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2004.02.001, 2004.
- [35] Courbon, C., Kramar, D., Krajnik, P., Pusavec, F., Rech, J., Kopac, J.: Investigation of machining performance in high-pressure jet assisted turning of Inconel 718: An experimental study, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 49, No. 14, pp. 1114-1125, DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2009.07.010, 2009.
- [36] Courbon, C., Sajn, V., Kramar, D., Rech, J., Kosel, F., Kopac, J.: Investigation of machining performance in high pressure jet assisted turning of Inconel 718: A numerical model, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 211, No. 11, pp. 1834-1851, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2011.06.006, 2011.
- [37] Da Silva, I. N., Hernane Spatti, D., Andrade Flauzino, R., Liboni, L. H. B., dos Reis Alves, S. F. *Artificial Neural Networks - A Practical Course*, Springer, DOI: 10.1007/978-3-319-43162-8, 2017.
- [38] da Silva, L.R.R., Rodrigues Campos, F.D.A., Sales, W.F., Machado, A.R.: Evaluation of the tool wear in the turning process of INCONEL 718 using PCD tools, *Procedia Manufacturing*, Vol. 53, pp. 276-285, DOI: 10.1016/j.promfg.2021.06.079, 2021.
- [39] Dai, X., Zhuang, K., Ding, H.: A systemic investigation of tool edge geometries and cutting parameters on cutting forces in turning of Inconel 718, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 105, No. 1-4, pp. 531-543, DOI: 10.1007/s00170-019-04212-0, 2019.
- [40] Danish, M., Gupta, M.K., Rubaiee, S., Ahmed, A., Sarıkaya, M., Krolczyk, G.M.: Environmental, technological and economical aspects of cryogenic assisted hard machining operation of inconel 718: A step towards green manufacturing, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 337, pp. 130483, DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.130483, 2022.
- [41] Dasa Manikanta, C., Saravanan, R.: Comparison of SiO₂ nanofluid and conventional coolant for flood cooling in CNC turning of INCONEL 800 to improve surface finish and machining rate, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 69, pp. 1048-1054, DOI: 10.1016/j.matpr.2022.08.165, 2022.
- [42] Deep Learning Toolbox, MathWorks, pristupljeno: 5 novembra 2023.
- [43] Demuth, H., Beslr, M., Hogan, M.: *Neural Network Toolbox User's Guide – MATLAB*, MathWorks, Inc., 2008.
- [44] Deshpande, Y.V., Andhare, A.B., Padole, P.M.: Application of ANN to estimate surface roughness using cutting parameters, force, sound and vibration in turning of Inconel 718, *SN Applied Sciences*, Vol. 1, No. 1, Art. No. 104, DOI: 10.1007/s42452-018-0098-4, 2019.

- [45] Dhananchezian, M.: Surface roughness and insert wear in turning Ti-6Al-4 V and Inconel 600 alloys with tungsten carbide inserts under dry conditions, *Materials Today: Proceedings*, DOI: 10.1016/j.matpr.2022.08.222, 2022.
- [46] Díaz-Álvarez, J., Cantero, J.L., Miguélez, H., Soldani, X.: Numerical analysis of thermomechanical phenomena influencing tool wear in finishing turning of Inconel 718, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 82, pp. 161-169, DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2014.03.010, 2014.
- [47] Díaz-Álvarez, J., Criado, V., Miguélez, H., Luis Cantero, J.: PCBN performance in high speed finishing turning of inconel 718, *Metals*, Vol. 8, No. 8, Art. No. 582, DOI: 10.3390/met8080582, 2018.
- [48] Dogra, M., Sharma, V.S., Dureja J.: Effect of tool geometry variation on finish turning – A Review, *Journal of Engineering Science and Technology Review*, Vol. 4, pp.1-13, DOI:10.25103/jestr.041.01, 2011.
- [49] Durairaj, M., Gowri, S.: Optimization of inconel 600 alloy micro turning process using grey relational analysis, *Advanced Materials Research*, Vol. 576, pp. 548-551, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.576.548, 2012.
- [50] Dureja, J. S., Gupta, V. K., Sharma, V. S., Dogra, M., Bhatti, M. S.: A review of empirical modeling techniques to optimize machining parameters for hard turning applications, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers - Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 230, pp.389-404, DOI: 10.1177/0954405414558731, 2014.
- [51] Eskandari, B., Bhowmick, S., Alpas, A.T.: Turning of Inconel 718 using liquid nitrogen: multi-objective optimization of cutting parameters using RSM, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 120, No. 5-6, pp. 3077-3101, DOI: 10.1007/s00170-022-08906-w, 2022.
- [52] Ezugwu, E. O., Fadare, D. A., Bonney, J., Da Silva, R. B., Sales, W. F. Modelling the correlation between cutting and process parameters in high-speed machining of Inconel 718 alloy using an artificial neural network. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 45, No. 12, pp. 1375–1385, DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2005.02.004, 2005.
- [53] Fang, Z., Obikawa, T.: Turning of Inconel 718 using inserts with cooling channels under high pressure jet coolant assistance, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 247, pp. 19-28, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2017.03.032, 2017.
- [54] Foresee, F. Dan, and Martin T. Hagan.: Gauss-Newton approximation to Bayesian learning, *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, June, 1997.
- [55] Frifita, W., Ben Salem, S., Haddad, A., Yallese, M.A.: Optimization of machining parameters in turning of Inconel 718 Nickel-base super alloy, *Mechanics and Industry*, Vol. 21, No. 2, Art. No. 203, DOI: 10.1051/meca/2020001, 2020.

- [56] Ganta, V., Dupadu, C.: Modeling and optimization of TAM in turning of Inconel 718 superalloy using RSM and PSO, *Emerging Materials Research*, Vol. 8, No. 2, pp. 234-246, DOI: 10.1680/jemmr.17.00018, 2019.
- [57] Garg, A., Bhalerao, Y., Tai, K.: Review of empirical modelling techniques for modelling of turning process, *International Journal of Modelling Identification and Control*, Vol. 20, No. 2, pp.121 - 129. DOI:10.1504/ijmic.2013.056184, 2013.
- [58] Gobivel, K., Vijay Sekar, K.S., Prabhakaran, G., Sugan Elankavi, R.: Experimental investigations on orthogonal turning of inconel 718 with TiAlN coated tool, *Materials Science Forum*, 979, pp. 142-148, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.979.142, 2020.
- [59] Goldberg, D.E., Holland, J.H.: Genetic algorithms and machine learning *Machine Learning*, Vol. 3, pp. 95-99, 1988
- [60] Gong, L., Bertolini, R., Bruschi, S., Ghiotti, A., He, N.: Surface Integrity Evaluation When Turning Inconel 718 Alloy Using Sustainable Lubricating-Cooling Approaches, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, Vol. 9, No. 1, pp. 25-42, DOI: 10.1007/s40684-021-00310-1, 2022.
- [61] Gong, L., Bertolini, R., Ghiotti, A., He, N., Bruschi, S.: Sustainable turning of Inconel 718 nickel alloy using MQL strategy based on graphene nanofluids, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 108, No. 9-10, pp. 3159-3174, DOI: 10.1007/s00170-020-05626-x, 2020.
- [62] Grigoriev, S., Vereschaka, A., Uglov, V., Milovich, F., Cherenda, N., Andreev, N., Migranov, M., Seleznev, A.: Influence of tribological properties of Zr-ZrN-(Zr,Cr,Al)N and Zr-ZrN-(Zr,Mo,Al)N multilayer nanostructured coatings on the cutting properties of coated tools during dry turning of Inconel 718 alloy, *Wear*, Vol. 512-513, Art. No. 204521, DOI: 10.1016/j.wear.2022.204521, 2023.
- [63] Grzesik, W., Niesłony, P., Habrat, W., Sieniawski, J., Laskowski, P.: Investigation of tool wear in the turning of Inconel 718 superalloy in terms of process performance and productivity enhancement, *Tribology International*, Vol. 118, pp. 337-346, DOI: 10.1016/j.triboint.2017.10.005, 2018.
- [64] Gurgen, S., Tali, D., Kushan, M.C.: An investigation on surface roughness and tool wear in turning operation of inconel 718, *Journal of Aerospace Technology and Management*, Vol. 11, Art. No. e1319, DOI: 10.5028/jatm.v11.1030, 2019.
- [65] Gutnichenko, O., Bushlya, V., Zhou, J., Ståhl, J.-E.: Influence of cutting speed and tool wear on vibrations and process stability when turning Inconel 718 with PCBN tools, *International Journal of Manufacturing Research*, Vol. 9, No. 2, pp. 173-193, DOI: 10.1504/IJMR.2014.062444, 2014.
- [66] Hagan, M.T., Menhaj, M.: Training feed-forward networks with the Marquardt algorithm, *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 5, No. 6, pp. 989-993, DOI: 10.1109/72.329697, 1994.

- [67] Hao, Z., Cheng, G., Fan, Y.: Research on surface roughness prediction in turning Inconel 718 based on Gaussian process regression, *Physica Scripta*, Vol. 98, No. 1, Art. No. 015216, DOI: 10.1088/1402-4896/acaad5, 2023.
- [68] Hao, Z.P., Fan, Y.H., Lin, J.Q., Yu, Z.X.: Wear characteristics and wear control method of PVD-coated carbide tool in turning Inconel 718, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 78, No. 5-8, pp. 1329-1336, DOI: 10.1007/s00170-014-6752-0, 2015.
- [69] He, C.L., Zong, W.J., Zhang, J.J.: Influencing factors and theoretical modeling methods of surface roughness in turning process: State-of-the-art, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 129, pp. 15-26, DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2018.02.001, 2018.
- [70] He, L.J., Xu, J.H., Su, H.H., Chen, Y.: Turning of cast inconel 718 with coated carbide and whisker reinforced ceramic tools, *Materials Science Forum*, 770, pp. 136-140, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.770.136, 2014.
- [71] He, Y., Zhou, Z., Zou, P., Gao, X., Ehmann, K.F.: Study of ultrasonic vibration-assisted thread turning of Inconel 718 superalloy, *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 11, No. 10, DOI: 10.1177/1687814019883772, 2019.
- [72] Hemakumar, S., Kuppan, P.: Experimental investigations and optimisation of process parameters in dry finish turning of Inconel 625 super alloy, *International Journal of Materials and Product Technology*, Vol. 59, No. 4, pp. 303-320, DOI: 10.1504/IJMPT.2019.104583, 2019.
- [73] Holland, J.H.: *Adaption in Natural and Artificial Systems. An Introductory Analysis with Application to Biology, Control and Artificial Intelligence*, 1st ed., The University of Michigan: Ann Arbor, MI, USA, 1975.
- [74] Höschel, K., Lakshminarayanan, V.: Genetic algorithms for lens design: A review *Journal of Optics*, Vol. 48, pp. 134-144, 2019.
- [75] Hosseini Tazehkandi, A., Pilehvarian, F., Davoodi, B.: Experimental investigation on removing cutting fluid from turning of Inconel 725 with coated carbide tools, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 80, pp. 271-281, DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.098, 2014.
- [76] Hribersek, M., Pusavec, F., Rech, J., Kopac, J.: Modeling of machined surface characteristics in cryogenic orthogonal turning of inconel 718, *Machining Science and Technology*, Vol. 22, No. 5, pp. 829-850, DOI: 10.1080/10910344.2017.1415935, 2018.
<https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainlm.html>.
- [77] Hua, Y., Liu, Z.: Effects of cutting parameters and tool nose radius on surface roughness and work hardening during dry turning Inconel 718, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 96, No. 5-8, pp. 2421-2430, DOI: 10.1007/s00170-018-1721-7, 2018.

- [78] Jafarian, F., Amirabadi, H., Fattahi, M.: Improving surface integrity in finish machining of Inconel 718 alloy using intelligent systems, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 71, No. 5–8, pp. 817–827, DOI: 10.1007/s00170-013-5528-2, 2014.
- [79] Jahanbakhsh, M., Akhavan Farid, A., Lotfi, M.: Optimal flank wear in turning of Inconel 625 super-alloy using ceramic tool, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 232, No. 2, pp. 208–216, DOI: 10.1177/0954405416640698, 2018.
- [80] Jain, H., Tripathi, J., Bharilya, R., Jain, S., Kumar, A.: Optimisation and evaluation of machining parameters for turning operation of Inconel-625, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 2, No. 4-5, pp. 2306–2313, DOI: 10.1016/j.matpr.2015.07.273, 2015.
- [81] Javadi, H., Jomaa, W., Songmene, V., Brochu, M., Bocher, P.: Inconel 718 Superalloy Controlled Surface Integrity for Fatigue Applications Produced by Precision Turning, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 20, No. 8, pp. 1297–1310, DOI: 10.1007/s12541-019-00145-6, 2019.
- [82] Jeykrishnan, J., Sai, M.M., Bareeth, M.S., Babu, B.S.M., Prikeshwar, S., Shrinivas, V.A.: Parametric analysis of turning process characteristics in Inconel 625 alloy using traditional techniques, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, Vol. 9, No. 8, pp. 386–390, 2018.
- [83] Jovičić, G., Kanović, Ž., Šokac, M., Santoši, Ž., Mitrović, S., Šimunović, G., Vukelić, Đ.: Modelling of surface roughness and tool wear during the turning of inconel 601 alloy using artificial neural networks, 14. International Scientific Conference ETIKUM, Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka, 7-9 Decembar, 2023, str. 29-32, ISBN 978-86-6022-618-3
- [84] Jovičić, G., Milošević, A., Kanović, Ž., Šokac, M., Šimunović, G., Savković, B., Vukelić, Đ.: Optimization of Dry Turning of Inconel 601 Alloy Based on Surface Roughness, Tool Wear, and Material Removal Rate, *Metals*, Vol. 13, No. 6, Article Number: 1068, DOI: 10.3390/met13061068, 2023.
- [85] Jovičić, G., Milošević, A., Šokac, M., Santoši, Ž., Kočović, V., Šimunović, G., Vukelić Đ.: The modelling of surface roughness after the turning of Inconel 601 by using artificial neural network, 18. International Conference on Tribology - SERBIATRIB, Kragujevac: Serbian Tribology Society and Faculty of Engineering, 17-19 May, 2023, pp. 779-788, ISBN 978-86-6335-103-5.
- [86] Jovičić, G., Milošević, A., Šokac, M., Santoši, Ž., Kočović, V., Šimunović, G., Vukelić Đ.: Evaluation of tool wear and surface roughness during dry turning of Inconel 601 with PVD and CVD inserts, 2. Konferencija sa međunarodnim učešćem Napredne tehnologije u obrazovanju i privredi, Vrnjačka Banja: Visoka tehnička škola strukovnih studija, 30-31 Maj, 2023, str. 1-8, ISBN 978-86-6211-145-6.
- [87] Kaçal, A.: Effect of machining parameters on turning of inconel X750 using PVD coated carbide inserts, *Journal of Scientific and Industrial Research*, Vol. 79, No. 3, pp. 226–231, 2020.

- [88] Kamata, Y., Obikawa, T.: High speed MQL finish-turning of Inconel 718 with different coated tools, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 192-193, pp. 281-286, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2007.04.052, 2007.
- [89] Kanović, Ž., Jeličić, Z., Rapaić, M.: *Evolutivni optimizacioni algoritmi u inženjerskoj praksi*, fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2017.
- [90] Karthik Reddy, T., Kosaraju, S., Nuka, R.: Experimental study and optimization of turning Inconel 718 using coated and uncoated inserts, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 19, pp. 512-516, DOI: 10.1016/j.matpr.2019.07.645, 2019.
- [91] Katoch, S., Chauhan, S.S., Kumar, V. A review on genetic algorithm: past, present, and future. *Multimedia Tools and Applications*, Vol. 80, pp. 8091–8126, DOI: 10.1007/s11042-020-10139-6, 2021.
- [92] Khan, S.A., Soo, S.L., Aspinwall, D.K., Sage, C., Harden, P., Fleming, M., White, A., M'Saoubi, R.: Tool wear/life evaluation when finish turning Inconel 718 using PCBN tooling, *Procedia CIRP*, Vol. 1, No. 1, pp. 283-288, DOI: 10.1016/j.procir.2012.04.051, 2012.
- [93] Khanafer, K., Eltaggaz, A., Deiab, I.: Numerical study of flow and heat transfer of minimum quantity lubrication based nanofluid in a turning process using Inconel alloy, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 108, No. 1-2, pp. 475-483, DOI: 10.1007/s00170-020-05430-7, 2020.
- [94] Khanna, N., Agrawal, C., Dogra, M., Pruncu, C.I.: Evaluation of tool wear, energy consumption, and surface roughness during turning of inconel 718 using sustainable machining technique, *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 9, No. 3, pp. 5794-5804, DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.03.104, 2020.
- [95] Khanna, N., Airao, J., Nirala, C.K., Krolczyk, G.M.: Novel sustainable cryo-lubrication strategies for reducing tool wear during ultrasonic-assisted turning of Inconel 718, *Tribology International*, Vol. 174, Art. No. 107728, DOI: 10.1016/j.triboint.2022.107728, 2022.
- [96] Khochtali, H., Ayed, Y., Zemzemi, F., Bensalem, W.: Tool wear characteristics in rough turning of Inconel 718 with coated carbide tool under conventional and high-pressure coolant supplies, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 114, No. 7-8, pp. 2371-2386, DOI: 10.1007/s00170-021-07002-9, 2021.
- [97] Kosaraju, S., Vijay Kumar, M., Sateesh, N.: Optimization of Machining Parameter in Turning Inconel 625, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 2, pp. 5343-5348, DOI: 10.1016/j.matpr.2017.12.119, 2018.
- [98] Kumar Bohidar, S., Kumar Gupta, V., Surakasi, R., Mohan Gift, M.D., Madhavarao, S., Janardhana, K.: Comparative investigation and optimization of turning process parameters using Taguchi technique in turning of Inconel 718, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 62, pp. 2021-2025, DOI: 10.1016/j.matpr.2022.02.397, 2022.

- [99] Kumar, M.S., Reddy, S.R., Vasu, V. A.: 3-D Simulation and Experimental Study of Cutting Forces in Turning Inconel-718, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 4, No. 9, pp. 9942-9945, DOI: 10.1016/j.matpr.2017.06.298, 2017.
- [100] Liu, L., Wu, M., Li, L., Cheng, Y.: FEM Simulation and Experiment of High-Pressure Cooling Effect on Cutting Force and Machined Surface Quality During Turning Inconel 718, *Integrated Ferroelectrics*, Vol. 206, No. 1, pp. 160-172, DOI: 10.1080/10584587.2020.1728637, 2020.
- [101] López-Gálvez, H., Soldani, X.: Determination of optimum numerical parameters in a 3D model of finish turning operation applied to Inconel 718, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 99, Art. No. 102035, DOI: 10.1016/j.simpat.2019.102035, 2020.
- [102] Lotfi, M., Ashrafi, H., Amini, S., Akhavan Farid, A., Jahanbakhsh, M.: Characterization of various coatings on wear suppression in turning of Inconel 625: A three-dimensional numerical simulation, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, Vol. 231, No. 6, pp. 734-44, DOI: 10.1177/1350650116677131, 2017.
- [103] Lotfi, M., Farid, A.A., Jahanbakhsh, M.: Tool wear deceleration in turning of Inconel 625, *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, Vol. 21, No. 4, pp. 321-335, DOI: 10.1504/IJMMM.2019.101489, 2019.
- [104] Lotfi, M., Jahanbakhsh, M., Akhavan Farid, A.: Wear estimation of ceramic and coated carbide tools in turning of Inconel 625: 3D FE analysis, *Tribology International*, Vol. 99, pp. 107-116, DOI: 10.1016/j.triboint.2016.03.008, 2016.
- [105] Lu, D., Wang, Q., Wu, Y., Cao, J., Guo, H.: Fundamental turning characteristics of inconel 718 by applying ultrasonic elliptical vibration on the base plane, *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 30, No. 8, pp. 1010-1017, DOI: 10.1080/10426914.2014.973588, 2015.
- [106] MacKay, D.J.C.: Bayesian interpolation. *Neural computation*. Vol. 4, No. 3, pp. 415-447, 1992.
- [107] Magri, A., Diniz, A.E., Suyama, D.I.: Evaluating the use of high-pressure coolant in turning process of Inconel 625 nickel-based alloy, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 232, No. 7, pp. 1182-1192, DOI: 10.1177/0954405416664373, 2018.
- [108] Mahboob Ali, M.A., Azmi, A.I., Murad, M.N., Shuaib, N.A., Davim, J.P.: On the effects of bio-based nanolubricants formulation for the turning of Inconel 718, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 43, No. 12, Art. No. 558, DOI: 10.1007/s40430-021-03285-x, 2021.
- [109] Man, K. F., Tang, K. S., Kwong, S.: *Genetic Algorithms - Concepts and Designs*, Springer, DOI: 10.1007/978-1-4471-0577-0, 2012.

- [110] Mane, P.A., Kallol, A.N., Doiphode, R.L., Manjunath, G.A., Saleh, B., Abbas, M., Saleel, C.A., Alarifi, I.M.: Inconel 718 Turning Process Parameters Optimization with MQL Nanofluid Based on CuO Nanoparticles, *Journal of Nanomaterials*, Vol. 2022, Art. No. 1408529, DOI: 10.1155/2022/1408529, 2022.
- [111] Manohar, M., Jomy, J., Selvaraj, T., Sivakumar, D.: Application of Box Behnken design to optimize the parameters for turning Inconel 718 using coated carbide tools, *International Journal of Scientific and Engineering Research*, Vol. 4, No. 4, pp. 620–644, 2013.
- [112] Manohar, M., Joseph, J., Selvaraj, T., Sivakumar, D.: Application of desirability-function and RSM to optimise the multi-objectives while turning Inconel 718 using coated carbide tools, *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, Vol. 27, No. 4-6, pp. 218-237, DOI: 10.1504/IJMTM.2013.058899, 2013.
- [113] Manohar, M., Selvaraj, T., Sivakumar, D., George, K.M.: Modeling of Turning Parameters for Inconel 718 Alloy using ANN, *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, Vol. 14, No. 4, pp. 203-213, DOI: 10.1142/S0219686715500134, 2015.
- [114] Manohar, M., Selvaraj, T., Sivakumar, D., Jeyapaul, R., Jomy, J.: Application of experimental design and analysis of mathematical models for turning inconel 718 using coated carbide tools, *Experimental Techniques*, Vol. 38, No. 6, pp. 61-71, DOI: 10.1111/j.1747-1567.2012.00833.x, 2014.
- [115] Marimuthu, P., Baskaran, R.: Optimal setting of machining parameters for turning inconel 625 using coated tool, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 573, pp. 632-637, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.573.632, 2014.
- [116] Marimuthu, P., Senthil Kumar, K., Dinesh Raja, S., Karthikeyan, S.: Analyse and optimise machining parameters setting for CNC turning of inconel x-750 using genetic algorithm, *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 10, No. 55, pp. 3978-3981, 2015.
- [117] Marquardt, D.: An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters, *SIAM Journal on Applied Mathematics*, Vol. 11, No. 2, pp. 431–441, 1963.
- [118] Marques, A., Narala, S.K.R., Machado, A.R., Gunda, R.K., Josyula, S.K., Da Silva, R.B., Da Silva, M.B.: Performance assessment of MQSL: Minimum quantity solid lubricant during turning of Inconel 718, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 231, No. 7, pp. 1144-1159, DOI: 10.1177/0954405415592128, 2017.
- [119] Marques, A., Paipa Suarez, M., Falco Sales, W., Rocha Machado, Á.: Turning of Inconel 718 with whisker-reinforced ceramic tools applying vegetable-based cutting fluid mixed with solid lubricants by MQL, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 266, pp. 530-543, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2018.11.032, 2019.
- [120] Masters, T.: *Practical neural network recipes in C++*, Academica Press, San Diego, California, 1993.
- [121] Matlab for Artificial Intelligence, MathWorks, <https://www.mathworks.com>, pristupljeno: 20 oktobra 2023.

- [122] Mehta, A., Hemakumar, S., Patil, A., Khandke, S.P., Kuppan, P., Oyyaravelu, R., Balan, A.S.S.: Influence of sustainable cutting environments on cutting forces, surface roughness and tool wear in turning of Inconel 718, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 2, pp. 6746-6754, DOI: 10.1016/j.matpr.2017.11.333, 2018.
- [123] Memarianpour, M., Niknam, S.A., Turenne, S., Balazinski, M.: Initial tool wear behavior in high-speed turning of inconel 718, *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, Vol. 44, No. 3, pp. 395-404, DOI: 10.1139/tcsme-2019-0110, 2020.
- [124] Miljković, Z., Aleksendrić, D.: Veštačke neuronske mreže – Zbirka rešenih zadataka sa izvodima iz teorije, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 2009.
- [125] Mitrofanov, A.V., Ahmed, N., Babitsky, V.I., Silberschmidt, V.V.: Effect of lubrication and cutting parameters on ultrasonically assisted turning of Inconel 718, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 162-163, pp. 649-654, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2005.02.170, 2005.
- [126] Mitrofanov, A.V., Babitsky, V.I., Silberschmidt, V.V.: Finite element analysis of ultrasonically assisted turning of Inconel 718, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 153-154, No. 1-3, pp. 233-239, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2004.04.299, 2004.
- [127] Mohamed, M.H.: Rules extraction from constructively trained neural networks based on genetic algorithms, *Neurocomputing*, Vol. 74, pp. 3180–3192, 2011.
- [128] Moller, M.F.: A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning, *Neural Networks*, Vol. 6, pp. 525–533, DOI: 10.1016/S0893-6080(05)80056-5, 1993.
- [129] Mou, W., Zhu, S.: Vibration, tool wear and surface roughness characteristics in turning of Inconel 718 alloy with ceramic insert under LN2 machining, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 42, No. 7, Art. No. 369, DOI: 10.1007/s40430-020-02438-8, 2020.
- [130] Mrkvica, I., Konderla, R., Faktor, M.: Turning of inconel 718 by cemented carbides, *Key Engineering Materials*, Vol. 496, pp. 138-143, DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.496.138, 2012.
- [131] Muhammad, M., Joseph, Ching-Shihn C., Nadeem, A. M.: Investigation of cutting parameters effect for minimization of surface roughness in internal turning, *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, Vol. 12, No. 1, pp. 121–127, DOI: 10.1007/s12541-011-0015-x, 2011.
- [132] Naresh Babu, M., Anandan, V., Dinesh Babu, M.: Performance of ionic liquid as a lubricant in turning inconel 825 via minimum quantity lubrication method, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 64, pp. 793-804, DOI: 10.1016/j.jmapro.2021.02.011, 2021.
- [133] Osmond, L., Curtis, D., Slatter, T.: Chip formation and wear mechanisms of SiAlON and whisker-reinforced ceramics when turning Inconel 718, *Wear*, Vol. 486-487, Art. No. 204128, DOI: 10.1016/j.wear.2021.204128, 2021.

- [134] Ostrowicki, N., Kaim, A., Gross, D., Hanenkamp, N.: Effect of various cooling lubricant strategies on turning Inconel 718 with different cutting materials, *Procedia CIRP*, Vol. 101, pp. 350-353, DOI: 10.1016/j.procir.2021.02.037, 2020.
- [135] Padhy, C., Singh, P.: Estimating Machinability Factors in Turning of Inconel 625 under different lubricating conditions using 3D DEFORM FE Analysis, *INCAS Bulletin*, Vol. 14, No. 1, pp. 97-107, DOI: 10.13111/2066-8201.2022.14.1.8, 2022.
- [136] Padhy, C., Singh, P.: Optimization of Machining Parameters using Taguchi Coupled Grey Relational Approach while Turning Inconel 625, *Journal of Mechanical Engineering*, Vol.18, No. 2, pp. 161-176, 2021.
- [137] Panchal, F.S., Panchal, M.: Review of selecting Number of Hidden Nodes in Artificial Neural Networks, *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, Vol. 3, No. 11, p. 455-464, 2014.
- [138] Panigrahi, R. R., Panda, A., Sahoo, A.K., Kumar, R., Mishra, R.R.: Turning performance analysis and optimization of processing parameters using GRA-PSO approach in sustainable manufacturing, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, Vol. 236, No. 6, pp. 2404–2419, DOI: 10.1177/09544089221093309, 2022.
- [139] Parida, A.K., Maity, K.: Comparison the machinability of Inconel 718, Inconel 625 and Monel 400 in hot turning operation, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Vol. 21, No. 3, pp. 364-370, DOI: 10.1016/j.jestch.2018.03.018, 2018.
- [140] Parida, A.K., Maity, K.: FEM analysis and experimental investigation of force and chip formation on hot turning of Inconel 625, *Defence Technology*, Vol. 15, No. 6, pp. 853-860, DOI: 10.1016/j.dt.2019.04.012, 2019.
- [141] Parthiban, V., Vijayakumar, S., Sakthivel, M.: Optimization of high-speed turning parameters for Inconel 713C based on Taguchi grey relational analysis, *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, Vol. 43, No. 3, pp. 416-430, DOI: 10.1139/tcsme-2018-0221, 2019.
- [142] Paturi, U.M.R., Maddu, Y.R., Maruri, R.R., Narala, S.K.R.: Measurement and Analysis of Surface Roughness in WS2 Solid Lubricant Assisted Minimum Quantity Lubrication (MQL) Turning of Inconel 718, *Procedia CIRP*, Vol. 40, pp. 138-143, DOI: 10.1016/j.procir.2016.01.082, 2016.
- [143] Pawade, R.S., Joshi, S.S.: Mechanism of chip formation in high-speed turning of inconel 718, *Machining Science and Technology*, Vol. 15, No. 1, pp. 132-152, DOI: 10.1080/10910344.2011.557974, 2011.
- [144] Pawade, R.S., Joshi, S.S.: Multi-objective optimization of surface roughness and cutting forces in high-speed turning of Inconel 718 using Taguchi grey relational analysis (TGRA), *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 56, No. 1-4, pp. 47-62, DOI: 10.1007/s00170-011-3183-z, 2011.

- [145] Pinheiro, C., Kondo, M.Y., Amaral, S.S., Callisaya, E.S., De Souza, J.V.C., De Sampaio Alves, M.C., Ribeiro, M.V.: Effect of machining parameters on turning process of Inconel 718, *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 36, No. 12, pp. 1421-1437, DOI: 10.1080/10426914.2021.1914839, 2021.
- [146] Prokes, T., Muralova, K., Kovar, J.: Experimental evaluation on the quality of machined surface after turning of material inconel 625, *MM Science Journal*, Vol. 2016, pp. 1617-1620, DOI: 10.17973/MMSJ.2016_12_2016197, 2016.
- [147] Qadri, S.I.A., Harmain, G.A., Wani, M.F.: Influence of tool tip temperature on crater wear of ceramic inserts during turning process of Inconel-718 at varying hardness, *Tribology in Industry*, Vol. 42, No. 2, pp. 310-326, DOI: 10.24874/ti.776.10.19.05, 2020.
- [148] Rajaparthiban, J., Sait, A.N.: Application of the grey based Taguchi method and Deform-3D for optimizing multiple responses in turning of Inconel 718, *MP Materials Testing*, Vol. 60, No. 9, pp. 907-912, DOI: 10.3139/120.111230, 2018.
- [149] Rajashekhar Reddy, S., Kumar, M.S., Vasu, V.: Temperature study in Turning Inconel-718: 3D Simulation and Experimentation, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 4, No. 9, pp. 9946-9950, DOI: 10.1016/j.matpr.2017.06.299, 2017.
- [150] Rajkumar, G., Balasundaram, R., Ganesh, N., Rajaram, S.: Investigation of Turning Parameters of Machining Inconel 718 using Titanium and Carbide Inserts, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No.5, pp. 11283-11294, DOI: 10.1016/j.matpr.2018.02.095, 2018.
- [151] Raju, B.S., Chandrasekhar, U., Manjunath, L.H.: Studies on process parameter optimization of inconel 718 turning operation using taguchi based grey relational analysis, *International Journal of Vehicle Structures and Systems*, Vol. 12, No. 4, pp. 465-469, DOI: 10.4273/ijvss.12.4.22, 2020.
- [152] Ramanujam, R., Venkatesan, K., Saxena, V., Pandey, R., Harsha, T., Kumar, G.: Optimization of machining parameters using fuzzy based principal component analysis during dry turning operation of inconel 625 - A hybrid approach, *Procedia Engineering*, Vol. 97, pp. 668-676, DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.296, 2014.
- [153] Raykar, S.J.: Machining performance analysis of Turning of Inconel 718 under different coolant environment, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Vol. 29, No. 1, pp. 130-136, 2022.
- [154] Ren, X., Liu, Z.: A simulation model for predicting surface integrity coupled thermal-mechanical effect in turning of Inconel 718 super alloy, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 100, No. 5-8, pp. 1825-1837, DOI: 10.1007/s00170-018-2704-4, 2019.
- [155] Sadhukhan, C., Mitra, S.K., Biswas, R., Naskar, M.K.: Tool condition monitoring: unscented Kalman filter for tool flank wear estimation in turning of Inconel 718, *Machining Science and Technology*, Vol. 25, No. 2, pp. 331-348, DOI: 10.1080/10910344.2020.1855650, 2021.

- [156] Sahoo, A.K., Sahoo, S.K., Pattanayak, S., Moharana, M.K.: Experimental investigation of ultrasonic vibration assisted turning of Inconel 825 using TiAlN/TiAlCrN coated WC cutting tool insert, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, DOI: 10.1177/09544089221139629, 2022.
- [157] Saleem, M.Q., Mehmood, A.: Eco-friendly precision turning of superalloy Inconel 718 using MQL based vegetable oils: Tool wear and surface integrity evaluation, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 73, pp. 112-127, DOI: 10.1016/j.jmapro.2021.10.059, 2022.
- [158] Sampath Kumar, T., Ramanujam, R., Vignesh, M., Tamiloli, N., Sharma, N., Srivastava, S., Patel, A.M.: Comparative evaluation of performances of TiAlN, AlCrN, TiAlN/AlCrN coated carbide cutting tools and uncoated carbide cutting tools on turning Inconel 825 alloy using Grey Relational Analysis, *Sensors and Actuators, A: Physical*, Vol. 279, pp. 331-342, DOI: 10.1016/j.sna.2018.06.041, 2018.
- [159] Satyanarayana, B., Ranga Janardhana, G., Hanumantha Rao, D.: Optimized high speed turning on Inconel 718 using Taguchi method based Grey relational analysis, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Vol. 20, No. 4, pp. 269-275, 2013.
- [160] Satyanarayana, B., Yadav, G.S.G., Nitin, P.R., Reddy, M.D.: Simultaneous Optimization of Multi Performance Characteristics in Dry Turning of Inconel 718 Using NSGA-II, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 2, No. 4-5, pp. 2423-2432, DOI: 10.1016/j.matpr.2015.07.182, 2015.
- [161] Senthilkumaar, J.S., Selvarani, P., Arunachalam, R.M. Intelligent optimization and selection of machining parameters in finish turning and facing of Inconel 718, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 58, No. 9-12, pp. 885-894, DOI: 10.1007/s00170-011-3455-7, 2012.
- [162] Settineri, L., Faga, M.G., Lerga, B.: Properties and performances of innovative coated tools for turning Inconel, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 48, No. 7-8, pp. 815-823, DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2007.12.007, 2008.
- [163] Settineri, L.: Surface properties and performance of multilayer coated tools in turning Inconel, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 54, No. 1, pp. 515-518, DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60158-9, 2005.
- [164] Shalaby, M.A., Veldhuis, S.C.: Tool wear and chip formation during dry high speed turning of direct aged Inconel 718 aerospace superalloy using different ceramic tools, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, Vol. 233, No. 7, pp. 1127-1136, DOI: 10.1177/1350650118822388, 2019.
- [165] Sharman, A.R.C., Hughes, J.I., Ridgway, K.: Surface integrity and tool life when turning Inconel 718 using ultra-high pressure and flood coolant systems, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 222, No. 6, pp. 653-664, DOI: 10.1243/09544054JEM936, 2008.

- [166] Silva, L.R., Soares, C.B.: Performance of the minimum quantity lubrication technique in turning Inconel 718 at high cutting speed, *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, Vol. 5, No. 4, pp. 401-416, DOI: 10.1504/IJMMM.2009.026900, 2009.
- [167] Sivaiah, P., Ajay Kumar G, V., Singh M, M., Kumar, H.: Effect of novel hybrid texture tool on turning process performance in MQL machining of Inconel 718 superalloy, *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 35, No. 1, pp. 61-71, DOI: 10.1080/10426914.2019.1697444, 2020.
- [168] Sivalingam, V., Poogavanam, G., Natarajan, Y., Sun, J.: Optimization of atomized spray cutting fluid eco-friendly turning of Inconel 718 alloy using ARAS and CODAS methods, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 120, No. 7-8, pp. 4551-4564, DOI: 10.1007/s00170-022-09047-w, 2022.
- [169] Sivalingam, V., Zan, Z., Sun, J., Selvam, B., Gupta, M.K., Jamil, M., Mia, M.: Wear behaviour of whisker-reinforced ceramic tools in the turning of Inconel 718 assisted by an atomized spray of solid lubricants, *Tribology International*, Vol. 148, Art. No. 106235, DOI: 10.1016/j.triboint.2020.106235, 2020.
- [170] Sivalingam, V., Zhao, Y., Thulasiram, R., Sun, J., kai, G., Nagamalai, T.: Machining Behaviour, surface integrity and tool wear analysis in environment friendly turning of Inconel 718 alloy, *Measurement*, Vol. 174, Art. No. 109028, DOI: 10.1016/j.measurement.2021.109028, 2021.
- [171] Sonawane, S., Wangikar, S., Pukale, K.: Multi-Independent Optimization while Turning of Inconel-600 alloy using Grey Interactive Exploration, *Production Engineering Archives*, Vol. 27, No. 4, pp. 277-282, DOI: 10.30657/pea.2021.27.37, 2021.
- [172] Song, X.Y., Zhao, J.: Tool wear of PVD coated carbide inserts in high speed turning inconel 718, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 26-28, pp. 988-992, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.26-28.988, 2010.
- [173] Soo, S.L., Khan, S.A., Aspinwall, D.K., Harden, P., Mantle, A.L., Kappmeyer, G., Pearson, D., M'Saoubi, R.: High speed turning of Inconel 718 using PVD-coated PCBN tools, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 65, No. 1, pp. 89-92, DOI: 10.1016/j.cirp.2016.04.044, 2016.
- [174] Sørby, K., Vagnorius, Z.: High-pressure cooling in turning of inconel 625 with ceramic cutting tools, *Procedia CIRP*, Vol. 77, pp. 74-77, DOI: 10.1016/j.procir.2018.08.221, 2018.
- [175] Stephenson, D.A., Skerlos, S.J., King, A.S., Supekar, S.D.: Rough turning Inconel 750 with supercritical CO₂-based minimum quantity lubrication, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 214, No. 3, pp. 673-680, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2013.10.003, 2014.
- [176] Subhas, B. K., Bhat, R., Ramachandra, K., Balakrishna, H. K.: Dimensional instability studies in machining of Inconel 718 nickel based superalloy as applied to aerogas turbine components, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 122, pp. 55-61, DOI:10.1115/1.48317, 2000.

- [177] Tamang, S.K., Chandrasekaran, M., Palanikumar, K., Arunachalam, R.M.: Machining performance optimisation of mql-assisted turning of inconel-825 superalloy using ga for industrial applications, *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, Vol. 21, No. 1-2, pp. 43-64, DOI: 10.1504/ijmmm.2019.098066, 2019.
- [178] Tazehkandi, A.H., Shabgard, M., Kiani, G., Pilehvarian, F.: Investigation of the influences of polycrystalline cubic boron nitride (PCBN) tool on the reduction of cutting fluid consumption and increase of machining parameters range in turning Inconel 783 using spray mode of cutting fluid with compressed air, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 135, pp. 1637-1649, DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.102, 2016.
- [179] Tazehkandi, A.H., Shabgard, M., Pilehvarian, F., Farshfroush, N.: Experimental investigations of cutting parameters' influence on cutting forces and surface roughness in turning of Inconel alloy X-750 with biodegradable vegetable oil, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 231, No. 9, pp. 1516-1527, DOI: 10.1177/0954405415599914, 2017.
- [180] Tazehkandi, A.H., Shabgard, M., Pilehvarian, F.: Application of liquid nitrogen and spray mode of biodegradable vegetable cutting fluid with compressed air in order to reduce cutting fluid consumption in turning Inconel 740, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 108, pp. 90-103, DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.07.045, 2015.
- [181] Tebaldo, V., di Confiengo, G.G., Faga, M.G.: Sustainability in machining: "Eco-friendly" turning of Inconel 718. Surface characterisation and economic analysis, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 140, pp. 1567-1577, DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.216, 2017.
- [182] Tebassi, H., Yallese, M. A., Belhadi, S., Girardin, F., Mabrouki, T.: Quality-productivity decision making when turning of Inconel 718 aerospace alloy: A response surface methodology approach, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, Vol. 8, No. 3, pp. 347-362, 2017.
- [183] Tebassi, H., Yallese, M. A., Meddour, I., Girardin, F., Mabrouki, T.: On the modeling of surface roughness and cutting force when turning of Inconel 718 using artificial neural network and response surface methodology: Accuracy and benefit, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, Vol. 61, No. 1, pp. 1-11, 2017.
- [184] Tebassi, H., Yallese, M.A., Belhadi, S., Girardin, F., Mabrouki, T.: Quality-productivity decision making when turning of inconel 718 aerospace alloy: A response surface methodology approach, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, Vol. 8, No. 3, pp. 347-362, DOI: 10.5267/j.ijiec.2016.12.003, 2017.
- [185] Thakur, A., Gangopadhyay, S., Mohanty, A.: Investigation on some machinability aspects of inconel 825 during dry turning, *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 30, No. 8, pp. 1026-1034, DOI: 10.1080/10426914.2014.984216, 2015.

- [186] Thakur, A., Gangopadhyay, S.: Evaluation of micro-features of chips of Inconel 825 during dry turning with uncoated and chemical vapour deposition multilayer coated tools, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 232, No. 6, pp. 979-994, DOI: 10.1177/0954405416661584, 2018.
- [187] Thakur, D., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L.: Optimization of high speed turning parameters of superalloy Inconel 718 material using Taguchi technique, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Vol. 16, No. 1, pp. 44-50, 2009.
- [188] Thakur, D.G., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L.: A study on the surface integrity aspects of superalloy Inconel 718 under minimum quantity lubrication in high speed turning, *International Journal of Materials and Structural Integrity*, Vol. 5, No. 1, pp. 36-45, DOI: 10.1504/IJMSI.2011.039045, 2011.
- [189] Thakur, D.G., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L.: A study on the parameters in high-speed turning of superalloy inconel 718, *Materials and Manufacturing Processes*, Vol. 24, No. 4, pp. 497-503, DOI: 10.1080/10426910802714571, 2009.
- [190] Thakur, D.G., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L.: An experimental analysis of effective high speed turning of superalloy Inconel 718, *Journal of Materials Science*, Vol. 44, No. 12, pp. 3296-3304, DOI: 10.1007/s10853-009-3445-4, 2009.
- [191] Thakur, D.G., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L.: Effect of posttreatments on the performance of tungsten carbide (K20) tool while machining (turning) of Inconel 718, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 76, No. 1-4, pp. 587-596, DOI: 10.1007/s00170-014-6279-4, 2015.
- [192] Thakur, D.G., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L.: Influence of minimum quantity lubrication on the high speed turning of aerospace material superalloy Inconel 718, *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, Vol. 13, No. 2-3, pp. 203-214, DOI: 10.1504/IJMMM.2013.053223, 2013.
- [193] Thakur, D.G., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L.: Investigation and optimization of lubrication parameters in high speed turning of superalloy Inconel 718, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 50, No. 5-8, pp. 471-478, DOI: 10.1007/s00170-010-2538-1, 2010.
- [194] Thakur, D.G., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L.: Machinability investigation of Inconel 718 in high-speed turning, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 45, No. 5-6, pp. 421-429, DOI: 10.1007/s00170-009-1987-x, 2009.
- [195] Thakur, D.G., Ramamoorthy, B., Vijayaraghavan, L.: Study on the machinability characteristics of superalloy Inconel 718 during high speed turning, *Materials and Design*, Vol. 30, No. 5, pp. 1718-1725, DOI: 10.1016/j.matdes.2008.07.011, 2009.
- [196] Thirumalai, R., Seenivasan, M., Panneerselvam, K.: Experimental investigation and multi response optimization of turning process parameters for Inconel 718 using TOPSIS approach, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 45, pp. 467-472, DOI: 10.1016/j.matpr.2020.02.004, 2021.

- [197] Touazine, H., Chadha, K., Jahazi, M., Bocher, P.: Characterization of Subsurface Microstructural Alterations Induced by Hard Turning of Inconel 718, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol. 28, No. 11, pp. 7016-7024, DOI: 10.1007/s11665-019-04416-1, 2019.
- [198] Toubhans, B., Viprey, F., Fromentin, G., Karaouni, H., Dorlin, T.: Study of phenomena responsible for part distortions when turning thin Inconel 718 workpieces, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 61, pp. 46-55, DOI: 10.1016/j.jmapro.2020.11.007, 2021.
- [199] Toubhans, B., Viprey, F., Fromentin, G., Karaouni, H.: Prediction of form error during face turning on flexible Inconel 718 workpiece, *Procedia CIRP*, Vol. 82, pp. 290-295, DOI: 10.1016/j.procir.2019.04.045, 2019.
- [200] Tu, L., Lin, L., Liu, C., Zheng, T., Deng, Y., Han, L., An, Q., Ming, W., Chen, M.: Tool wear characteristics analysis of cBN cutting tools in high-speed turning of Inconel 718, *Ceramics International*, Vol. 49, No. 1, pp. 635-658, DOI: 10.1016/j.ceramint.2022.09.034, 2023.
- [201] Vasudevan, H., Rajguru, R.R., Shaikh, M., Shaikh, A.: Optimization of process parameters in the turning operation of inconel 625, *Materials Science Forum*, 969 MSF, pp. 756-761, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.969.756, 2019.
- [202] Veerappan, G., Pritima, D., Parthsarathy, N.R., Ramesh, B., Jayasathyakawin, S.: Experimental investigation on machining behavior in dry turning of nickel based super alloy-Inconel 600 and analysis of surface integrity and tool wear in dry machining, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 59, pp. 1566-1570, DOI: 10.1016/j.matpr.2022.04.151, 2022.
- [203] Venkatesan, K., Devendiran, S., Ghazaly, N.M.: Application of Taguchi-Response surface analysis to optimize the cutting parameters on turning of Inconel X-750 using Nanofluids suspended Al₂O₃ in coconut oil, *Procedia Manufacturing*, Vol. 30, pp. 90-97, DOI: 10.1016/j.promfg.2019.02.014, 2019.
- [204] Venkatesan, K., Devendiran, S., Murali, T.: A hybrid algorithm for multi-objective optimisation of parameters nanofluid in MQL-turning of Inconel X-750, *Advances in Materials and Processing Technologies*, DOI: 10.1080/2374068X.2022.2129825, 2022.
- [205] Venkatesan, K., Patel, J.K., Raval, G.V., Shah, H.V.: A Comparative study of tool wears in dry turning of Inconel X-750 and Waspaloy, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 5, No. 5, pp. 13429-13437, DOI: 10.1016/j.matpr.2018.02.337, 2018.
- [206] Vetri Velmurgan, K., Venkatesan, K.: An investigation of the parametric effects of cutting parameters on quality characteristics during the dry turning of inconel 718 alloy, *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 9, No. 44, Art. No. 103314, DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i44/103314, 2016.

- [207] Vijayaraghavan, V., Garg, A., Gao, L., Vijayaraghavan, R., Lu, G.: A finite element based data analytics approach for modeling turning process of Inconel 718 alloys, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 137, pp. 1619-1627, DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.04.010, 2016.
- [208] Vukelic, D., Simunovic, K., Simunovic, G., Saric, T., Kanovic, Z., Budak, I. Agarski, B.: Evaluation of an environment-friendly turning process of Inconel 601 in dry conditions, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 266, pp. 121919, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121919, 2020.
- [209] Waghmode, S.P., Dabade, U.A.: Optimization of process parameters during turning of Inconel 625, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 19, pp. 823-826, DOI: 10.1016/j.matpr.2019.08.138, 2019.
- [210] Wang, Q., Wu, Y., Gu, J., Lu, D., Ji, Y., Nomura, M.: Fundamental Machining Characteristics of the In-base-plane Ultrasonic Elliptical Vibration Assisted Turning of Inconel 718, *Procedia CIRP*, Vol. 42, pp. 858-862, DOI: 10.1016/j.procir.2016.03.008, 2016.
- [211] Weng, J., Zhuang, K., Hu, C., Zhu, D., Guo, S., Ding, H.: A novel approach to thermal modeling based on three-dimensional analysis in turning Inconel 718 with round insert, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 266, pp. 588-598, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2018.11.040, 2019.
- [212] Xavier, M.A., Manohar, M., Patil, M.M., Jeyapandiarajan, P.: Investigation of surface integrity during turning inconel 718, *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, Vol. 41, No. 3, pp. 387-394, DOI: 10.1139/tcsme-2017-1027, 2017.
- [213] Xu, Y., Gao, F., Zou, P., Zhang, Q., Fan, F.: Theoretical and experimental investigations of surface roughness, surface topography, and chip shape in ultrasonic vibration-assisted turning of Inconel 718, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 34, No. 9, pp. 3791-3806, DOI: 10.1007/s12206-020-0830-x, 2020.
- [214] Xue, C., Wang, D., Zhang, J.: Wear Mechanisms and Notch Formation of Whisker-Reinforced Alumina and Sialon Ceramic Tools during High-Speed Turning of Inconel 718, *Materials*, Vol. 15, No. 11, Art. No. 3860, DOI: 10.3390/ma15113860, 2022.
- [215] Yagmur, S.: The effects of cooling applications on tool life, surface quality, cutting forces, and cutting zone temperature in turning of Ni-based Inconel 625, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 116, No. 3-4, pp. 821-833, DOI: 10.1007/s00170-021-07489-2, 2021.
- [216] Yashwant Bhise, V., Jogi, B.F.: Effect of cutting speed and feed on surface roughness in dry turning of Inconel X-750, *Materials Today: Proceedings*, Vol. 61, pp. 587-592, DOI: 10.1016/j.matpr.2022.04.098, 2022.
- [217] Yazid, M.Z.A., Che Hassan, C.H., Jaharah, A.G., Gusri, A.I., Ahmad Yasir, M.S.: Tool wear of PVD coated carbide tool when finish turning inconel 718 under high speed machining, *Advanced Materials Research*, Vol. 129-131, pp. 1004-1008, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.129-131.1004, 2010.

- [218] Yazid, M.Z.A., Ibrahim, G.A., Said, A.Y.M., CheHaron, C.H., Ghani, J.A.: Surface integrity of Inconel 718 when finish turning with PVD coated carbide tool under MQL, *Procedia Engineering*, Vol. 19, pp. 396-401, DOI: 10.1016/j.proeng.2011.11.131, 2011.
- [219] Yildirim, C.V., Sarıkaya, M., Kivak, T., Sirin: The effect of addition of hBN nanoparticles to nanofluid-MQL on tool wear patterns, tool life, roughness and temperature in turning of Ni-based Inconel 625, *Tribology International*, Vol. 134, pp. 443-456, DOI: 10.1016/j.triboint.2019.02.027, 2019.
- [220] Yıldırım, Ç.V.: Experimental comparison of the performance of nanofluids, cryogenic and hybrid cooling in turning of Inconel 625, *Tribology International*, Vol. 137, pp. 366-378, DOI: 10.1016/j.triboint.2019.05.014, 2019.
- [221] Yun, H., Zou, B., Wang, J., Huang, C., Shi, Z.: Assessment of cyclic utilization of coated cemented carbide inserts for turning of Inconel 718, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, DOI: 10.1007/s00170-020-06520-2, 2021.
- [222] Yusup, N., Zain, A.M., Hashim, S. Z. M.: Evolutionary techniques in optimizing machining parameters: Review and recent applications (2007–2011), *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, No. 10, pp. 9909-9927, DOI: 10.1016/j.eswa.2012.02.10, 2012.
- [223] Zainol, A., Yazid, M.Z.A.: The effect of portable MQL applicator onto carbide insert during turning Inconel 718, *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, Vol. 12, No. 2, pp. 3605-3613, DOI: 10.15282/jmes.12.2.2018.7.0319, 2018.
- [224] Zebala, W., Slodki, B.: Cutting data correction in Inconel 718 turning, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 65, No. 5-8, pp. 881-893, DOI: 10.1007/s00170-012-4225-x, 2013.
- [225] Zeilmann, R.P., Fontanive, F., Soares, R.M.: Wear mechanisms during dry and wet turning of Inconel 718 with ceramic tools, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 92, No. 5-8, pp. 2705-2714, DOI: 10.1007/s00170-017-0329-7, 2017.
- [226] Zhang, B., Njora, M.J., Sato, Y.: High-speed turning of Inconel 718 by using TiAlN- and (Al,Ti) N-coated carbide tools, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 96, No. 5-8, pp. 2141-2147, DOI: 10.1007/s00170-018-1765-8, 2018.
- [227] Zhao, J., Liu, Z.: Influences of coating thickness on cutting temperature for dry hard turning Inconel 718 with PVD TiAlN coated carbide tools in initial tool wear stage, *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 56, pp. 1155-1165, DOI: 10.1016/j.jmapro.2020.06.010, 2020.
- [228] Zheng, G., Zhao, J., Song, X., Cao, Q., Li, Y.: Ultra high speed turning of inconel 718 with sialon ceramic tools, *Advanced Materials Research*, Vol. 126-128, pp. 653-657, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.126-128.653, 2010.

- [229] Zhou, J., Bushlya, V., Avdovic, P., Stahl, J.E.: Study of surface quality in high speed turning of Inconel 718 with uncoated and coated CBN tools, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 58, No. 1-4, pp. 141-151, DOI: 10.1007/s00170-011-3374-7, 2012.
- [230] Zhou, J.M., Bushlya, V., Stahl, J.E.: An investigation of surface damage in the high speed turning of Inconel 718 with use of whisker reinforced ceramic tools, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 212, No. 2, pp. 372-384, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2011.09.022, 2012.
- [231] Zhu, X., Zhang, S., Ding, T., Wang, Y.: Statistical analysis of cutting forces in turning Inconel 718 with coated carbide tools, *Advanced Materials Research*, Vol. 135, pp. 96-101, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.135.96, 2010.
- [232] Zhuang, K., Zhu, D., Zhang, X., Ding, H.: Notch wear prediction model in turning of Inconel 718 with ceramic tools considering the influence of work hardened layer, *Wear*, Vol. 313, No. 1-2, pp. 63-74, DOI: 10.1016/j.wear.2014.02.007, 2014.
- [233] Zolpakar, N.A., Yasak, M.F., Pathak, S. A review: use of evolutionary algorithm for optimisation of machining parameters, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 115, pp. 31-47, DOI: 10.1007/s00170-021-07155-7, 2021.
- [234] Zou, Z., He, L., Jiang, H., Yuan, S., Ren, Z.: Influence of microgroove structure on cutting performance and chip morphology during the turning of superalloy Inconel 718, *Materials*, Vol. 14, No. 15, Art. No. 4142, DOI: 10.3390/ma14154142, 2021.
- [235] Zou, Z., He, L., Jiang, H., Zhan, G., Wu, J.: Development and analysis of a low-wear micro-groove tool for turning Inconel 718, *Wear*, Vol. 420-421, pp. 163-175, DOI: 10.1016/j.wear.2018.10.002, 2019.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Оптимизација геометријских параметара резних плочица у операцијама стругања
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
Докторске академске студије Машинство
1. Опис података
1.1. Врста студије: <u>Докторска дисертација</u> 1.2 Врсте података а) <u>квантитативни</u> б) <u>квалитативни</u> 1.3. Начин прикупљања података а) анкете, упитници, тестови б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи в) генотипови: навести врсту _____ г) административни подаци: навести врсту _____ д) узорци ткива: навести врсту _____ ђ) снимци, фотографије: навести врсту _____ е) текст, навести врсту <u>преглед литературе</u> ж) мапа, навести врсту _____ з) остало: <u>експериментална истраживања</u> 1.3 Формат података, употребљене скале, количина података 1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке: а) Excel фајл, датотека <u>.xlsx</u> б) SPSS фајл, датотека _____ ц) PDF фајл, датотека <u>.pdf</u> д) Текст фајл, датотека <u>.docx</u> е) JPG фајл, датотека <u>.jpg</u> ф) Остало, датотека <u>.mat, .m</u> 1.3.2. Број записа (код квантитативних података) а) број варијабли <u>9</u> б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) <u>238</u> 1.3.3. Поновљена мерења

а) да

б) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) временски размак измедју поновљених мера је _____

б) варијабле које се више пута мере односе се на _____

в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _____

Напомене: _____

Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?

а) Да

б) Не

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

а) експеримент, пун факторски експеримент

б) корелационо истраживање, навести тип _____

ц) анализа текста, прикупљање података анализом литературе

д) остало, навести шта _____

2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).

Уређај за мерење храпавости Talysurf 6, микроскоп Leitz Orthoplan

2.2 Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да Не

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

а) Колики је број недостајућих података? _____

б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да Не

в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података _____

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Квалитет података је контролисан поређењем експерименталних података са подацима моделирања и оптимизације, те израчунавањем добијених грешака.

2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

3. Третман података и пратећа документација

3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у Репозиторијуму докторских дисертација на Универзитету у Новом Саду.

3.1.2. URL адреса <http://cris.uns.ac.rs/searchDissertations.jsf>

3.1.3. DOI _____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

а) Да

б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____

в) Не

Ако је одговор не, навести разлог _____

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.

Образложење

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? _____

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? Трајно

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да Не

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да Не

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после
извесног времена? Да Не

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности (https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да Не

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да Не

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

а) Подаци нису у отвореном приступу

б) Подаци су анонимизирани

ц) Остало, навести шта

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

а) јавно доступни

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:

Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:

5.2. Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.

Ауторство

6. Улоге и одговорност

6.1. Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података

Горан Јовичић, goran.ns@hotmail.com

6.2. Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима

Горан Јовичић, goran.ns@hotmail.com

6.3. Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима

Горан Јовичић, goran.ns@hotmail.com