

АЛФА БК УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ЗА МАТЕМАТИКУ И РАЧУНАРСКЕ НАУКЕ



НОВЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ РАЧУНАРСКИХ АЛАТА И МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментор:

Проф. др Небојша М. Денић

Кандидат:

Костадинка Н. Стојановић, МА

Београд, 2026. године

ALFA BK UNIVERSITY BELGRADE
FACULTY OF MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCES



**NEW POSSIBILITIES OF APPLICATION OF
COMPUTER TOOLS AND MATHEMATICAL
MODELS**

PhD THESIS

Mentor:
Nebojsa M. Denic, PhD

Candidate:
Kostadinka N. Stojanović, MSc

Belgrade, 2026.

мојој породици

Захвалница

Захваљујем се члановима Комисије за оцену научне заснованости и подобности пријављене теме докторске дисертације и члановима Комисије за оцену и јавну одбрану докторске дисертације, као и Студентској служби Алфа БК Универзитета на професионалној и стручној сарадњи током мојих докторских студија и израде докторске дисертације.

Посебно се захваљујем ментору проф. др Небојши Денићу на правовременим, конкретним и квалитетним саветима и упутствима која су ми у великој мери помогли да на најбољи начин сагледам и реализујем поједина поглавља у дисертацији.

Такође се захваљујем мојим родитељима, оцу Небојши и мајци Виолети, као и сестрама Александри и Јелени, на подршци и разумевању током мојих докторских студија.

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	6902/2022
Тип документације, ТД:	Монографска документација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација
Аутор, АУ:	Костадинка Н. Стојановић, МА Број индекса: 6902/2022
Ментор, МН:	Проф. др Небојша М. Денић, ванредни професор Природно-математичког факултета, Косовска Митровица – Универзитет у Приштини
Наслов рада, НР:	Нове могућности примене рачунарских алата и математичких модела
Језик публикације, ЈП:	Српски
Језик извода, ЈИ:	Српски и енглески
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	Град Београд
Година, ГО:	2025.
Издавач, ИЗ:	Алфа БК Универзитет у Београду Факултет за математику и рачунарске науке
Место и адреса, МА:	Београд, ул. Палмира Тољатија бр. 3
Физички опис рада, ФО:	Страна: 188 Поглавља: 10+2 (Увод и Закључак) Референци: 159 Табела: 5 Слика: 37 Графикона: 13 Прилога: 34
Образовно-научно поље, ОМП:	Природно-математичке науке
Научна област, НО:	Рачунарске науке
Ужа научна област, УНО:	Рачунарство
Чува се, ЧУ:	Библиотека Алфа БК Универзитета у Београду
Важна напомена, ВН:	Аутор докторске дисертације потписао је следеће Изјаве: 1. Изјава о ауторству; 2. Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације; и 3. Изјава о коришћењу. Ове Изјаве се чувају на факултету у штампаном и електронском облику.
Сажетак (апстракт или резиме) на језику публикације, СА:	Страна: vii
Предметна одредница/Кључне речи, ПО/КР:	Дигитализација, индустрија 4.0, рачунарски алати, вештачка интелигенција, математички модели
Датум прихватања теме, ДП:	30. Април 2025. године, № 659.-
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије за одбрану докторске дисертације, КО:	
Председник:	
Члан:	
Члан/Ментор:	Проф. др Небојша Денић, редовни професор

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	6902/2022
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, T3 :	Textual material, printed
Contents code, CC :	PhD thesis
Author, AU :	Kostadinka N. Stojanović, MSc Ref. number: 6902/2022
Mentor, MN :	Nebojsa M. Denic, PhD, Associate Professor, Faculty of Natural Sciences in Kosovska Mitrovica, University of Pristina
Title, TI :	New possibilities of application of computer tools and mathematical models
Language of text, LT :	Serbian language (Cyrillic script)
Language of Abstract, LA :	Serbian and English
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	City of Belgrade
Publication year, PY :	2025.
Publisher, PB :	Alfa BK University – Belgrade Faculty of mathematics and computer sciences
Publication place and address; PP :	Belgrade, 3 Palmira Toljatića St.
Physical description, PD :	Pages: 188 Chapters: 10+2 References: 159 Tables: 5 Illustrations: 37 Graphs: 13 Appendices: 34
Scientific field of education, SFE :	Natural and Mathematical Sciences
Scientific field, SF :	Computer Sciences
Narrow scientific field, NSF :	Computer use
Holding data, HD :	Alfa BK University Library
Note, N :	The author of PhD dissertation has signed the following Statements: <ol style="list-style-type: none"> 1. Statement of the Authority; 2. Statement that the printed and electronic version of doctoral dissertation are identical; and 3. Statement on copyright licences. Those Statements in the paper and electronic versions are kept at the Faculty.-
Abstract, AB :	Page: viii
Subject/Key words, S/KW :	Digitalization, industry 4.0, computer tools, mathematical model
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	30 Април 2025, № 659.-
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	
President:	
Member:	
Member/Mentor:	Nebojsa M. Denic, PhD full professor

НОВЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ РАЧУНАРСКИХ АЛАТА И МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА

САЖЕТАК

Резултати истраживања у потпуности одговарају научним хипотезама и постављеним циљевима истраживања да се представи примена рачунарских метода алата и технологија и математичких модела. Резултати истраживања дисертације у компарацији са претходним истраживањима из релевантне литературе имају одређене како сличности тако и разлике. Разлози за то леже у чињеници еволуације нових оригиналних рачунарско математичких модела оптимизације. Резултати истраживања докторске дисертације имају изузетан значај и доприносе разумевању или решавању конкретних проблема оптимизације процеса применом оригиналних математичких модела.

Истраживање пружа нови значајан допринос научном знању и теорији из области примене рачунарско математичких модела у пракси, проширујући постојећа схватања проблема или концепата, кроз нови, оригинални модел примене. У докторској дисертацији на основу теоријске евалуације и истраживања у пракси, су дати концизни одговори на постављена истраживачка питања: како процес дигитализације, Индустрије 4.0, и Индустрије 5.0 утичу на пословање у Р. Србији, на који начин ИоТ и паметни градови утичу на квалитет живота и како рачунарски алати и математички модели могу унапредити постојеће процесе. У раду је коришћена методологија која укључује квалитативно квантитативне методе које обухватају: статистичку анализу података и извештаја о употреби дигиталних технологија, Индустрије 4.0, Индустрије 5.0, ИоТ-а, као и рачунарско математичких модела у пракси, односно истраживање примера успешне употребе дигиталних технологија, Индустрије 4.0, Индустрије 5.0, ИоТ-а, рачунарских алата и математичких модела у српским компанијама. Резултати истраживања имају теориски значај у истраживању и евалуацији најновије релевантне литературе из предмета истраживања, као и практичну примену, која се огледа у примени оригиналних приступа рачунарско-математичких модела у пракси.

Могућа ограничења истраживања докторске дисертације су та што што се оптимизација спроводи на основу рачунарско-математичких модела, који омогућавају аналитичку процену могућности унапређења процеса, такође ограничење могу бити методе прикупљања података, обим узорка, као и сам избор скупова података. Истраживање има практичну примену у оптимизацији пословања, смањењу трошкова и унапређењу постојећих процеса и процедура. У дисертацији су поштовани етички стандарди, а наглашена је важност комуникације резултата истраживања, који могу бити од значаја за различите циљне групе и аудиторијум. Најважнији и најрелевантнији резултати докторске дисертације се огледају у примени нових, оригиналних рачунарско-математичких модела у пракси на решавању конкретних пословних процеса.

У будућим истраживањима би се могли бавити следећим темама и проблемима који су остали непознати и нерешени, попут истраживања могућности практичне примене на већем узорку и другим пословним процесима. Значај истраживања у погледу општег знања и научног прогреса се може видети у развоју нових рачунарско-математичких модела оптимизације са циљем смањена трошкова и унапређења пословних процеса.

Кључне речи: дигитализација, Индустрија 4.0, Индустрија 5.0, рачунарски алати, математички модели, вештачка интелигенција.

NEW POSSIBILITIES OF APPLICATION OF COMPUTER TOOLS AND MATHEMATICAL MODELS

ABSTRACT

The research results fully correspond to the scientific hypotheses and the set research goals to present the application of computational methods, tools and technologies and mathematical models. The results of the dissertation research in comparison with previous research from the relevant literature have certain similarities and differences. The reasons for this lie in the fact of the evolution of new original computational mathematical models of optimization. The results of the doctoral dissertation research are of exceptional importance and contribute to the understanding or solution of a specific problem of process optimization by applying original mathematical models.

The research provides a new significant contribution to scientific knowledge and theory in the field of application of computational mathematical models in practice, expanding existing understandings of problems or concepts, through a new, original application model. The doctoral dissertation, based on theoretical evaluation and research in practice, provides concise answers to the research questions posed: how the process of digitalization and Industry 4.0, Industry 5.0 affect business in the Republic of Serbia, how IoT and smart cities affect the quality of life, and how computer tools and mathematical models can improve existing processes. The paper uses a methodology that includes qualitative and quantitative methods that include: statistical analysis of data and reports on the use of digital technologies, Industry 4.0, Industry 5.0, IoT, as well as computer-mathematical models in practice, i.e. research into examples of successful use of digital technologies, Industry 4.0, Industry 5.0, IoT, computer tools and mathematical models in Serbian companies. The research results have theoretical significance in the research and evaluation of the latest relevant literature on the subject of research, as well as practical application, which is reflected in the application of original approaches to computational-mathematical models in practice.

Possible limitations of the doctoral dissertation research are that the optimization is carried out on the basis of computational-mathematical models, which enable an analytical assessment of the possibilities of process improvement, and data collection methods, sample size, and the selection of data sets themselves may also be limitations. The research has practical application in business optimization, cost reduction, and improvement of existing processes and procedures. The dissertation respects ethical standards, and emphasizes the importance of communicating research results, which can be of importance for different target groups and audiences. The most important and most relevant results of the doctoral dissertation are reflected in the application of new, original computational-mathematical models in practice to solve specific business processes.

Future research could address the following topics and problems that remain unknown and unresolved, as well as exploring the possibilities of practical application on a larger sample and other business processes. The significance of the research in terms of general knowledge and scientific progress can be seen in the development of new computational-mathematical optimization models with the aim of reducing costs and improving business processes.

Keywords: digitalization, Industry 4.0, Industry 5.0, computer-based tools, mathematical model, artificial intelligence.

САДРЖАЈ

УВОДНЕ НАПОМЕНЕ	1
1. ПРВО ПОГЛАВЉЕ - МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР ИСТРАЖИВАЊА	2
1.1. Предмет и циљ истраживања	2
1.1.1. Одређивање предмета истраживања	3
1.1.2. Циљеви докторске дисертације	4
1.1.3. Хипотезе од којих ће се полазити у истраживању	6
1.1.4. Методе истраживања	10
1.1.5. Очекивани резултати и научни допринос	11
2. ДРУГО ПОГЛАВЉЕ - ДИГИТАЛИЗАЦИЈА И УТИЦАЈ ДИГИТАЛИЗАЦИЈЕ, ИНДУСТРИЈЕ 4.0, ИНДУСТРИЈЕ 5.0 и ИОТ НА ПОСЛОВНЕ ПРОЦЕСЕ	14
2.1. Дефиниција дигиталне трансформације	14
2.2. Теоретска позадина утицаја и импликација дигитализације, Индустије 4.0, Индустије 5.0 и Интернет ствари (ИоТ)	16
2.3. Анкета о стању процеса дигитализације у Р. Србији	25
3. ТРЕЋЕ ПОГЛАВЉЕ - ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА И ИМПЛИКАЦИЈЕ НА ПОСЛОВНЕ ПРОЦЕСЕ	31
3.1. Теоретске основе вештачке интелигенције	31
3.2. Циљ вештачке интелигенције	33
3.3. Еволуција вештачке интелигенције у Републици Србији	34
3.4. Врсте вештачке интелигенције	38
3.4.1. Уска вештачка интелигенција	38
3.4.2. Широка вештачка интелигенција	38

3.5.	Подручја вештачке интелигенције	41
3.6.	Генеративни ВИ алати	53
3.7.	Области примене вештачке интелигенције	57
3.7.1.	Примена вештачке интелигенције у предузећима	61
3.7.2.	Примена вештачке интелигенције у трговини и маркетингу	63
3.7.3.	Примена вештачке интелигенције у образовању	64
3.7.4.	Примена вештачке интелигенције у туризму	65
3.7.5.	Примена вештачке интелигенције у рачуноводству и ревизији	66
3.7.6.	Примена вештачке интелигенције у управљању пројектима	71
3.7.7.	Примена вештачке интелигенције у пословном одлучивању	73
3.7.8.	Примена вештачке интелигенције у оптимизацији	75
3.7.9.	Примена вештачке интелигенције у роботизацији	80
3.7.10.	Предности и слабости вештачке интелигенције	82
3.8.	Утицај вештачке интелигенције на индустрију	90
3.9.	Утицај вештачке интелигенције на будућност	92

4. ЧЕТВРТО ПОГЛАВЉЕ - ТЕОРЕТСКА ПОЗАДИНА ПРИМЕНЕ

МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА	94
4.1. Дефинисање и историјски развој математичких модела	95
4.2. Примери примене математичких модела у Србији	95
4.2.1. Резултати анкете о примени математичких модела у Србији	95

5. ПЕТО ПОГЛАВЉЕ - МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ТОПЉЕЊА

КОМПОЗИТА МЕТАЛ-ПОЛИМЕР ЗА БРИЗГАЊЕ У ЦИЛИНДРИЧНОМ ДОМЕНУ

103

5.1. Прелиминарна суплементација	106
5.2. Главни резултати	109
5.3. Конвективна једначина преноса топлоте масе	110

5.4.	Вектор брзине убризгавања	110
5.5.	Конвективна једначина преноса топлоте масе: температура топљења	113
5.6.	Једначина конвективне дифузије: Топлотна густина	114
5.7.	Очување енергије: обрада притиска	116
6.	ШЕСТО ПОГЛАВЉЕ – КОНВЕРГЕНЦИЈА КАРАКТЕРИСТИКА SHSM ОПТИМИЗАЦИОНОГ МОДЕЛА ЗА УНИФОРМНО КОНВЕКСНЕ ПРОБЛЕМЕ	121
6.1.	Посебне класе неограничених оптимизационих метода	121
6.2.	Конвергенција s-хибридне убрзане градијентне методе за униформно конвексне функције	123
7.	СЕДМО ПОГЛАВЉЕ - ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА	127
7.1.	Анализа доказа хипотеза	130
7.1.1.	Прва хипотеза	130
7.1.2.	ДРУГА ХИПОТЕЗА	131
8.	ЗАКЉУЧАК	137
9.	НАУЧНИ И СТРУЧНИ ДОПРИНОСИ	139
10.	ПРЕПОРУКЕ ЗА БУДУЋА ИСТРАЖИВАЊА	149
11.	ЛИТЕРАТУРА	150
12.	ПРИЛОЗИ	161
	РАДНА БИОГРАФИЈА КАНДИДАТА	182

УВОДНЕ НАПОМЕНЕ

Прво поглавље садржи комплетан методолошки оквир истраживања: врсте и предмет истраживања, циљеве докторске дисертације, полазне хипотезе, методе истраживања, очекиване резултате, научни допринос и научну оправданост рада.

У **другом поглављу** приказани су процес дигитализације и дигиталне трансформације пословања, основе Индустрије 4.0, Индустрије 5.0 и Интернета ствари (ИоТ), као и њихов утицај на оптимизацију пословних система.

Треће поглавље бави се вештачком интелигенцијом и њеним импликацијама на пословне процесе.

У **четвртном поглављу** представљена је теоријска позадина математичких модела, као и имплементација предложених модела и њихова примена у Републици Србији.

Пето поглавље посвећено је развоју математичког модела топљења композита метал-полимер у поступку бризгања, у оквиру цилиндричног домена.

Шесто поглавље обухвата анализу конвергенционих карактеристика SHSM оптимизационог модела за униформно конвексне проблеме.

Седмо поглавље доноси анализу и дискусију остварених резултата истраживања, са посебним освртом на проверу постављених хипотеза.

У **осмом поглављу**, кроз закључна разматрања, сумирају се научни и стручни доприноси дисертације и формулишу препоруке за будућа истраживања.

1. ПРВО ПОГЛАВЉЕ - МЕТОДОЛОШКИ ОКВИР

ИСТРАЖИВАЊА

1.1. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања ове докторске дисертације јесте развој и унапређење приступа заснованих на савременим рачунарским алатима и математичким моделима у циљу оптимизације техничких и производних процеса. Он је у потпуности у складу са насловом и основним смерницама дисертације, које истичу повезаност теоријских и примењених аспеката математичког моделирања и дигиталних технологија.

Истраживање обухвата: примену математичких модела, њихову практичну вредност и функционалност, класификацију и области примене модела, рачунарске алате и софтверску подршку, ограничења и изазове у примени, могуће правце унапређења и развоја математичких модела.

Посебна пажња посвећена је развоју математичке апаратуре за истраживање понашања неидеалних гасова у турбулентним струјањима, засноване на стандардним принципима математичке физике и законима очувања масе, енергије и импулса. Овим приступом омогућава се проналажење ефикаснијих решења у техничким системима, укључујући и процесе пластификације.

Поред тога, у раду се анализира развој дигитализације и концепта Индустрије 4.0 и 5.0 у Републици Србији, као и њихов утицај на имплементацију математичких модела и оптимизацију процеса у привреди.

У дисертацији ће бити разматрана и недавно уведена s-хибридна техника за извођење оптимизационих модела и представљена анализа конвергенције предложене s-хибридне убрзане градијентне методе у односу на униформно конвексне проблеме. У овом делу биће проширене постојеће студије и доказана конвергенција предложене s-хибридне шеме на скупу униформно конвексних функција. У том смислу биће проширена студија фокусирајући се на скуп униформно конвексних функција. Под претпоставком да је циљна функција униформно конвексна, биће доказано да је s-хибридна убрзана метода барем линеарно конвергентна. Додатно, под постављеним условима, биће процењена вредност итеративног

смањења функције. Резултати овог истраживања отвориће врата за даља истраживања различитих s-хибридних итерација.

Истраживање има два основна аспекта: а) теоријски, унапређење научних сазнања о математичким моделима и дигиталним технологијама, и б) операционални, практична примена и тестирање предложених модела

1.1.1. Одређивање предмета истраживања

1.1.1.1. Теоријско одређење предмета истраживања

Теоријским одређивањем предмета истраживања докторске дисертације биће извршено разматрање и селекција постојећих научних сазнања, која чине полазну основу за формулисање предмета истраживања дисертације.

1.1.1.2. Операционално одређење предмета истраживања

Операционално одређење предмета истраживања у суштини представља конкретизацију теоријског одређења предмета истраживања докторске дисертације. Односно, овај део нацрта научне замисли подразумева таксативно набрајање структуралних чинилаца предмета истраживања који ће бити истражени и њихово временско, просторно и дисциплинарно димензионирање.

1.1.1.3. Чиниоци садржаја предмета истраживања

Чиниоци садржаја предмета истраживања докторске дисертације подразумевају прецизно дефинисане елементе који ће бити у току истраживања дисертације непосредно истражени. С обзиром на назив докторске дисертације „Нове могућности примене рачунарских алата и математичких модела” у теоријском одређењу објашњени су основи категоријални појмови истраживања, а то су: 1) Дигитализација, Вештачка интелигенција, Индустрија 4.0, Индустрија 5.0, ИоТ и OLAP технологија и 2) Математички модели.

1.1.1.4. Временско одређење предмета истраживања

Други део операционалног одређивања предмета истраживања докторске дисертације односи се на временску димензију истраживања, односно на период који обухвата предмет

истраживања. У том погледу временско одређење предмета истраживања ове докторске дисертације је дефинисано и односи се на време од 2022. до 2025. године.

1.1.1.5. Просторно одређење предмета истраживања

Просторно одређивање предмета истраживања ове докторске дисертације се односи на простор који ће истраживањем бити обухваћен. У том смислу просторно одређење предмета истраживања докторске дисертације се односи на оптимизацију процеса и пословних система у Републици Србији.

1.1.1.6. Дисциплинарно одређење предмета истраживања

Дисциплинарно одређивање предмета истраживања ове докторске дисертације је, с обзиром на то да се ради о фундаменталним истраживањима, мултидисциплинарно. У том контексту основно образовно-научно поље истраживања као и опште научне области које обухвата тематику дисертације и предмет самог истраживања су:

Образовно-научно поље: Природно-математичке науке.

Научна област: Рачунарске науке.

Ужа научна област: Рачунарство.

Међутим, поред основног образовно-научног поља, основних и ужих научних области предмет ће бити еволуиран и у оквиру више ширих научних области и научних дисциплина, чиме само истраживање добија интердисциплинарни карактер:

Образовно-научно поље: Технолошко-техничке науке.

Научна област: Електротехника и рачунарско инжењерство.

Уже научне области: Информациони системи и информационе технологије; Индустрија 4.0, Индустрија 5.0, Дигитализација, ИоТ.

1.1.2. Циљеви докторске дисертације

Примарни циљ ове докторске дисертације јесте да се теоријским и емпиријским истраживањима утемељеним на савременом методолошком приступу проуче и дефинишу појмови и термини, који дефинишу математичке моделе, дигитализацију, индустрију 4.0,

индустрију 5.0, интернет ствари, као и математичко-рачунарске алате, као кључне факторе успешне оптимизације пословних процеса у савременом, брзо променљивом окружењу. У том контексту, докторска дисертација садржи сва значајна својства теоријско-емпиријског концепта истраживања, и као и сви оригинални научни радови има своје научне и друштвене циљеве који се постижу поступком израде докторске дисертације. Циљ истраживања докторске дисертације је условљен формулацијом проблема и, нарочито, предметом истраживања.

Фундаментални циљ докторске дисертације јесте да се истражи повезаност и нове оригиналне могућности примене софистицираних технологија, рачунарских алата, као и математичких модела. Поред наведеног, циљ дисертације је да пружи детаљан преглед развоја дигитализације и индустрије 4.0, индустрије 5.0, ИоТ у Републици Србији, да истакне њихово место, улогу, значај и ефекте на различите пословне процесе. Кроз анализу постојећих ресурса, подршке државе и институција, као и практичне примере имплементације, дисертација ће пружити увид у тренутно стање и перспективе развоја дигитализације, индустрије 4.0, индустрије 5.0, ИоТ-а у Републици Србији, истичући важност примене математичких модела у оптимизацији и даљег унапређења технолошких капацитета и пословних модела ради остваривања конкурентности на глобалном тржишту.

Научни циљ дисертације „Нове могућности примене рачунарских алата и математичких модела” јесте да се испитају нови облици и могућности примене математичких модела и значај примене дигиталних технологија на развој привреде у Србији. Научни циљ истраживања ове докторске дисертације изражава одређени ниво научног сазнања који реализацијом истраживања треба остварити. Истраживање може садржати анализу нивоа примене математичких модела, дигиталне трансформације, индустрије 4.0 и индустрије 5.0 у здравству, привреди, образовном сектору, и другим областима, истовремено пружајући идентификацију предности, недостатака и изазова које ове нове технологије и процеси доносе.

Друштвени циљ докторске дисертације огледа се у проучавању утицаја рачунарска алати, математички модели, односно дигитализација, индустрија 4.0, и индустрија 5.0 на привреду држава. Истраживање има за циљ да пружи допринос постојећем знању о дигитализацији, вештачкој интелигенцији, индустрији 4.0 и индустрији 5.0 у различитим

индустријама, као и корисне увиде предузећима која разматрају своје оригиналне пројекте дигиталне трансформације.

У складу са постављеним циљевима, формулисана су следећа истраживачка питања:

- На који начин нови оригинални математички модели могу унапредити пословне процесе?
- Како дигитална трансформација, индустрија 4.0, индустрија 5.0, ИоТ и вештачка интелигенција утичу на привреду и друштво у Републици Србији?
- У којој мери ИоТ и концепт паметних градова могу утицати на квалитет живота становништва?

За потребе истраживања, у докторској дисертацији је примењен интердисциплинарни модел при реализацији самог истраживања који укључује комбинацију квалитативних и квантитативних метода где интегрисамо квалитативне и квантитативне податке. У докторској дисертацији емпиријско истраживање базирамо на статистичкој анализи података које смо добили спровођењем интервјуа са корисницима и дискусијама и оригиналним пројектовањем рачунарских алата и креирањем нових јединствених оригиналних математичких модела, односно засновано на квалитативном истраживању функција ИоТ-а, рачунарско-математичких алата које је спроведено на дефинисаном узорку. Студиозном анализом квалитативних и квантитативних података настоји се да се утврди нов приступ примене рачунарских алата и математичких модела у унапређењу процеса.

Сврха докторске дисертације огледа се у примени оригиналног методолошког приступа примене нових рачунарских алата и математичких модела у пракси. Дисертације анализира процесе дигитализације, индустрије 4.0, индустрије 5.0, ИоТ, рачунарско-математичких модела, као и дела интернет ствари у паметним домовима и представља развој математичких модела са применом решавања конкретних проблема у производњи. Други део докторске дисертације заснива се на практичним сазнањима из теоријског дела дисертације са циљем развоја нових, ефикасних и одрживих решења у области рачунарско-математичких модела и њихову примену и интеграцију.

1.1.3. Хипотезе од којих ће се полазити у истраживању

Узимајући у обзир циљеве и предмет истраживања, као и претходно дефинисаних истраживачких питања, можемо извести хипотезе које ће бити проверене, доказане или

оповргнуте резултатима истраживања. Хипотезе докторске дисертације на тему „Нове могућности примене рачунарских алата и математичких модела” формулисане су на следећи начин:

Прва хипотеза

X₁: Примена нових рачунарских алата и оригиналних математичких модела развија аналитичко размишљање, омогућује оптимизацију процеса, побољшава разумевање математичких концепата уз оспособљавање за ефикасно суочавање и решавање математичких проблема у реалним ситуацијама.

Прва посебна хипотеза

X_{1.1}: Математичким моделом може бити пронађено јединствено решење проблема турбулентног струјања и решен проблем стабилности код такозваног „феномена транспорта” без значајнијих губитака и избегавањем многих експеримената применом принципе закона одржања енергије који се могу представити математичким формулама.

Друга посебна хипотеза

X_{1.2}: У скупу униформно конвексних функција, под претпоставком да је циљна функција униформно конвексна, биће доказано да је s-хибридна убрзана метода барем линеарно конвергентна, и додатно, под постављеним условима, бити процењена вредност итеративног смањења функције.

Друга хипотеза

X₂: Дигитална трансформација и примена концепата вештачке интелигенције, индустрије 4.0, индустрије 5.0 и ИоТ-а доводи до унапређења квалитета живота, пословања, повећања продуктивности, конкурентности и стварања нових радних места и развоја економије.

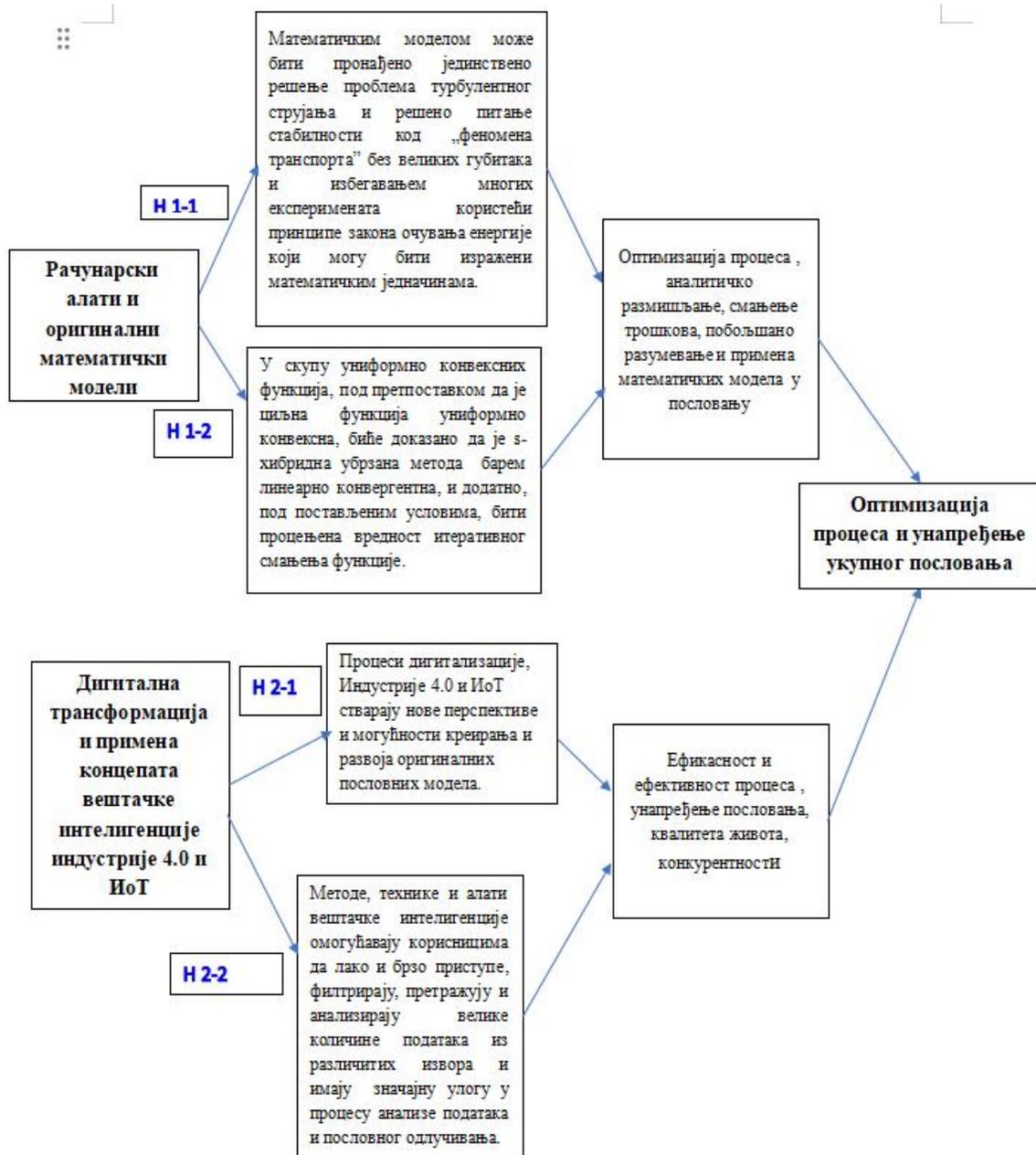
Индикатори: ниво дигитализације предузећа, број патената повезаних са ВИ, ниво инвестиција у ИТ, проценат предузећа која користе ИоТ и OLAP решења, брзина интернета, вредност тржишта индустријских робота, итд.

Прва посебна хипотеза

X₂₋₁: Процеси дигитализације, индустрије 4.0, индустрије 5.0 и ИоТ стварају нове перспективе и могућности креирања и развоја оригиналних пословних модела.

Друга посебна хипотеза

X₂₋₂: Методе, технике и алати вештачке интелигенције пружају корисницима да једноставно, лако и брзо приступе, претражују, филтрирају и анализирају огромне количине пословних података прикупљених из различитих извора и имају значајну улогу у процесу анализе података и пословног одлучивања.

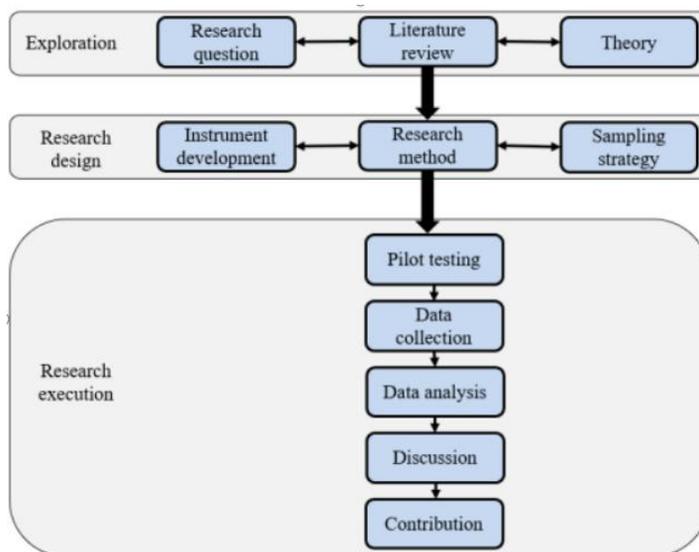


Слика 1.1.1 Шематски приказ методологије постављених хипотеза дисертације

Варијабле: Из операционалног одређења предмета истраживања изводимо следеће варијабле: године старости, пол, процентуални однос познавања математичких модела, проценат примене математичких модела у раду, корисност математичких модела у раду, врсте оригиналних математичких модела које корисници употребљавају у свом раду, области примене математичких модела, дигитална писменост, ниво образовања, мотивација,

процент употребе различитих алата односно софтверских програма за математичко моделовање, изазови у примени математичких модела, ажурирање или побољшавање математичких модела, позитиван проценат добијеним резултатима код примене математичких модела, профит, степен спремности за примену вештачке интелигенције, индустрије 4.0, индустрије 5.0 и ИоТ-а.

У складу са наведеним, хипотезе истраживања указују да се дигитализација, индустрија 4.0, индустрија 5.0, ИоТ, у Републици Србији још увек недовољно примењују и да постоје бројни изазови који спутавају њихов развој и ширу имплементацију. Истовремено, хипотезе предлажу могуће примере добре пословне праксе и пословне стратегије које пружају допринос развоју оригиналних рачунарско-математичких модела технологија и метода у Србији. На Слици 1.1.2 представљен је један од оригиналнијих модела истраживања.



Слика 1.1.2 Графички приказ методологије истраживања дисертације, [14]

1.1.4. Методе истраживања

У складу са претходно дефинисаном тематиком, предметом и циљевима истраживања, као и дефинисаним хипотезама, уз уважавање савремених достигнућа научно-истраживачкога рада, у реализацији докторске дисертације биће примењене комбиноване методе истраживања. У тематском делу дисертације биће примењена комбинација неколико

научних метода. За потребе истраживања докторске дисертације користићемо комбинацију квантитативних и квалитативних истраживачких метода. Квантитативне методе подразумевају статистичку анализу података и анкетаирање. Код квалитативних метода које обухватају преглед релевантне литературе и анализу документације о дигитализацији, Индустирији 4.0, Индустирији 5.0, вештачкој интелигенцији, ИоТ-у у Републици Србији. Уопштено се може рећи да су за потребе докторске дисертације коришћене теоријске, експерименталне и математичке методе. У том контексту, везано за методе истраживања, потенцијалне методе које ће бити примењене обухватају:

1. Статистичку анализу података из званичних статистичких и пословних извештаја који се односе на употребу дигиталних технологија, вештачке интелигенције, Индустирије 4.0, Индустирије 5.0, ИоТ-а, као и рачунарско-математичких модела у индустрији Републике Србије.
2. Истраживање студија случаја примене дигиталних технологија, вештачке интелигенције, Индустирије 4.0, Индустирије 5.0 ИоТ-а, рачунарских алата и математичких модела у изабраним компанијама у Републици Србији.

1.1.5. Очекивани резултати и научни допринос

1.1.5.1. Научна оправданост истраживања

Докторска дисертација пружа значајан допринос у теоретској, практичној, методолошкој и емпиријској области. Очекивани научни допринос докторске дисертације заснива се на два домена, и то: научном и стручном. Докторска дисертација, својом тематиком, доприноси сагледавању свих релевантних аспеката примене нових рачунарских алата и математичких модела у пракси. Научни резултати докторске дисертације могу се огледати и у научној дескрипцији односно научном тумачењу значаја, места и улоге процеса дигитализације, Индустирије 4.0, Индустирије 5.0, вештачке интелигенције и ИоТ-а, што представља допринос теорији из ове области. У том смислу, теоретски научни допринос докторске дисертације може се видети у класификацији свих познатих истраживања из области дигитализације, Индустирије 4.0, Индустирије 5.0, вештачке интелигенције, ИоТ-а и развоју новог модела примене рачунарских алата и математичких модела у пракси, односно у изради новог оригиналног математичког модела темељеног на знању који ће омогућити поузданије моделирање у пословном процесу. Методолошки аспект доприноса докторске

дисертације заснива се на развоју опште прихваћених теоретских концепата и модела, као и практичној примени рачунарских алата и математичких модела у пракси. Допринос резултата истраживања докторске дисертације се огледа у новом приступу развоја математичког модела са циљем оптимизације постојећих процеса. Очекивана научна оправданост се може огледати и у идентификацији изазова и могућности изазваних у различитим индустријским секторима и процени стратегије и методе која се може искористити да помогне предузећима да преживе и успеју у дигиталном добу. Приступ истраживања у докторској дисертацији представља нови оригиналан начин развоја математичког модела.

Научни допринос се остварује у два правца, односно као хеуристички резултат (откривање новог) и као верификаторни резултат (потврђивање научно провереног сазнања). Двојака природа доприноса у области науке може се изразити и кроз епистемолошки и методолошки значај. Резултати истраживања докторске дисертације пружају добру платформу за даљу оптимизацију и унапређење пословних процеса и процедура. Докторском дисертацијом су одређени правци будућих истраживања која требају бити усмерена на верификацију остварених резултата и закључних разматрања у сличним пословним окружењима.

1.1.5.2. Друштвена оправданост истраживања

Општа друштвена оправданост истраживања ове докторске дисертације је тесно повезана са њеном научном оправданошћу и може се видети у истраживању процеса дигитализације, Индустрије 4.0, Индустрије 5.0, вештачке интелигенције, ИоТ-а, примени нових рачунарских алата и математичких модела. Друштвени допринос дисертације огледа се у могућности коришћења добијених резултата за решавање конкретних друштвених и економских проблема, као и за подстицање иновација у пословним процесима. Примењена истраживања, на супрот оним теоријски заснованим (основним), ближа су остварењу овог вида доприноса, јер омогућавају практичну примену резултата у реалним условима.



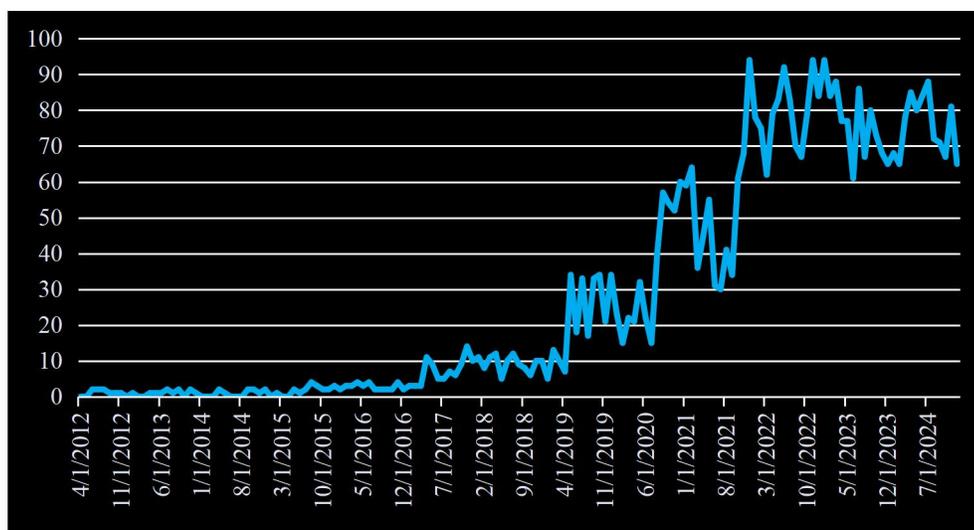
Слика 1.1.3 Структура истраживања дисертације

2. ДРУГО ПОГЛАВЉЕ - ДИГИТАЛИЗАЦИЈА И УТИЦАЈ ДИГИТАЛИЗАЦИЈЕ ИНДУСТРИЈЕ 4.0, ИНДУСТРИЈЕ 5.0 и ИоТ НА ПОСЛОВНЕ ПРОЦЕСЕ

2.1. Дефиниција дигиталне трансформације

Нове дигиталне технологије пружају могућност да организације задрже конкурентност, као и шансу за унапређење позиције на тржишту, профитабилности и продуктивности компаније [83]. Столтерман и Форс (Stolterman & Fors, 2004) дигиталну трансформацију дефинишу као „промене повезане са применом дигиталне технологије у свим аспектима људског друштва” [138]. Иако концепт интеграције дигиталних технологија у пословању није нов, појам “дигитализације” постао је посебно актуелан у последњој деценији [98].

Важно је разликовати иновативност и дигиталну трансформацију. Свака компанија поседује иновативну функцију без обзира на ниво дигиталне трансформације. Дигитална трансформација се дефинише као „организациска стратегија формулисана и извршена коришћењем дигиталних извора за стварање диференцијалне вредности” [13].



Слика 2.1.1 Дигитална трансформација Гугл претрага током година *Извор: Google trends*

Дигитализација и широко распрострањена употреба дигиталних технологија донеле су велики спектар могућности и изазова за предузећа широм свет [108]. Nambisan и Baron (2021) дефинишу дигитализацију као процес интеграције дигиталних технологија у пословне процесе ради креирања нових дигиталних производа и услуга [98]. Према Vial-у (2019) наводи да је дигитална трансформација „процес у којој организације реагују на промене које се дешавају у њиховом окружењу коришћењем дигиталних технологија за измену својих процеса стварања вредности“ [150].

Компаније могу остати конкурентне само континуираним прилагођавањем технолошким иновацијама [94]. Једна од значајних предности дигитализације односи се на убрзања иновација – компаније које користе дигиталне алате могу брзо експериментисати, тестирати и унапређивати идеје [2].

Дигитална стратегија дефинише начине на које предузећа трансформишу своје пословне операције, маркетинг и корисничко искуство користећи дигиталне технологије са циљем стварања веће вредности за купце и заинтересоване стране [29].

У глобалном пословном окружењу, концепт Индустрије 4.0 представља кључни фактор трансформације индустријских процеса, подстичући интеграцију дигиталних технологија ради постизања веће ефикасности, конкурентности и иновативности [40]. Прва индустријска револуција заснивала се на примени парне машине, друга на увођењу електричне енергије, трећа на процесима аутоматизације, док се четврта темељи на дигитализацији и повезивању система [38]. Термин „Индустрија 4.0“, познат и као „четврта индустријска револуција“, означава свеобухватну интеграцију дигиталних технологија у производни процес ради повећања продуктивности, квалитета и ефикасности.

Дигитализација такође унапређује комуникацију са корисницима и омогућава развој савремених пословних модела [94]. Истраживања показују да ће до 2030. године око 375 милиона радника, што је приближно 14% глобалне радне снаге, морати да промени професију због аутоматизације [94].

Република Србија, као земља која тежи модернизацији свог индустријског сектора, све више препознаје значај и потенцијал Индустрије 4.0. Главне карактеристике индустрије 5.0 односе се на сарадњу човека и робота, примену вештачке интелигенције (ВИ), колаборативних робота и развој нових технологија. Неке од најважнијих технолошких промена, а такође и кључне карактеристике индустрије 4.0 су управо ВИ, машинско учење и

рачунарство у облаку. Док Индустрија 4.0 акценат ставља на аутоматизацију и дигитализацију, Индустрија 5.0 ставља човека у фокус и тежи хармонизацији напредне технологије и креативности.

Табела 2.1.1 Подаци о компјутерској писмености, [119]

	Жене	Мушкарци	Укупно
Компјутерски писмена лица	52,8%	47,2%	45,7%
Компјутерски делимично писмена лица	47,2%	52,8%	30,0%
Компјутерски неписмена лица	55,8%	44,2%	24,3%

Претходни подаци показују да је компјутерска писменост приближно иста према полу испитаника и креће се оквирно око 50%.

2.2. Теоретска позадина утицаја и импликација дигитализације, Индустрије 4.0, Индустрије 5.0 и Интернет ствари (ИоТ)

Према Schuh, Anderl, Gausemier, ten Hompel & Wahsler (2017), дигитализација се може користити за повећање продуктивности, смањење трошкова и побољшање ефикасности ланца снабдевања у сваком сектору [124]. Четврта индустријска револуција заснива се на интеграцији савремених технолошких иновација у различитим областима, које проистичу из дигиталне револуције, а у чијем је средишту ВИ, нанотехнологије и мобилни уређаји.

Индустрија 5.0 се, сходно томе, очекује као фаза која ће донети нове облике запошљавања, преобразити рад и увести додатне напредне технологије. Велики подаци, ВИ, Интернет ствари (ИоТ), паметне фабрике и друге дигиталне технологије значајно су промениле начине на које комуницирамо, приступамо информацијама, стичемо знање, радимо и купујемо [41].

Уопштено, концепт Индустрије 4.0 обухвата примену напредних технологија као што су рачунање у облаку, сајбер-физички системи и ИоТ. Платформе ових иновација, посебно мобилних технологија, омогућиле су бржи процес креирања, преноса и приступа знању, што доприносу настанку нових облика техничке и друштвене комуникације [42].

Полазећи од тога, Индустрија 5.0 ће превазићи границе индустријског система и утицати на свакодневни живот људи, што ће са собом донети бројне изазове. Према Крајчовичу и Чабиовој (2020), иновације истовремено утичу на развој друштва, његову структуру и динамику, вредносни систем, као и на свакодневницу појединца [85].

Да би компанија или организација успешно пословала у склопу Индустије 4.0 неопходно је да има јасно дефинисану и имплементирану дигиталну стратегију. Главни покретачи Четврте индустријске револуција јесу напредак у области ВИ, нанотехнологије, 3D штампе, генетског инжењеринга и других софистицираних технологија и научних поља. Значај и утицај Индустије 4.0 потврђује и чињеница да је велики број земаља развио националне програме подршке и унапређења технолошког развоја Индустије 4.0.

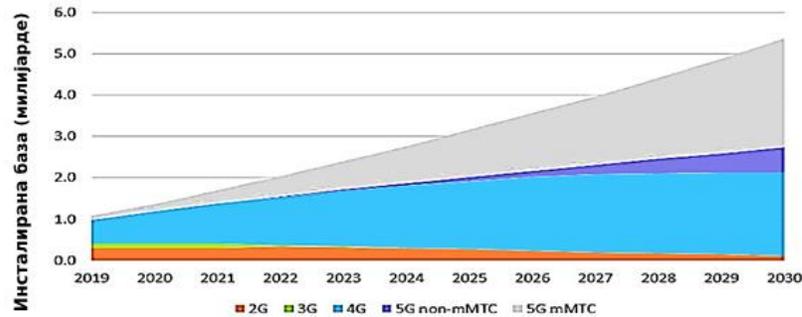
На слици 2.2.1 приказан је број земаља које су усвојиле стратегију Индустије 4.0, као и висина инвестиција у Индустији 4.0 у милијардама америчких долара.



Слика 2.2.1 Број земаља са стратегијом индустрије 4.0, [71]

Резултати истраживања показују да је управо у последњих десетак година своје националне програме за имплементацију и примену оригиналног дигиталног концепта производње усвојило више од 45 држава држава, укључујући и Републику Србију. Концепт друштва 5.0, заједно са сличним иницијативама покренутим у другим земљама света, као што су Индустијског интернет конзорцијум у Сједињеним Америчким државама (САД), Индустија 4.0 у Немачкој, „Производња 2030“ у Шведској и „Производња 2025“ у Кини, послужио је као основа за развој Индустије 5.0 [71].

Брзина, обим и природа промена имају потенцијал да трансформишу индустријске гране и предузећа, како у реалном, тако и у услужном сектору економије, као и у областима здравства и образовања [52].



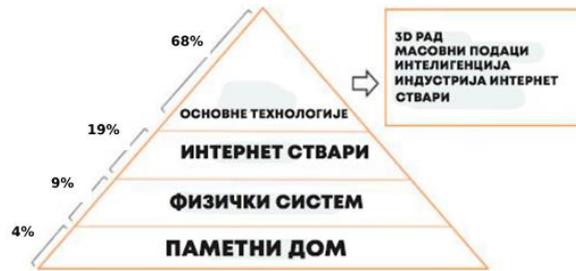
Слика 2.2.2 Глобална употреба IoT у периоду 2019-2030. године, [58]

Још један важан аспект Индустрије 4.0 јесте примена IoT, које представља мрежу повезаних уређаја и сензора способних за међусобну комуникацију. Употреба IoT решења бележи континуирани раст, при чему су мобилни и паметни уређаји значајно утицали на његово експоненцијално ширење. IoT представља пример ефикасне примене дигиталних технологија и производним процесима омогућавајући повећање продуктивности, оптимизацију ресурса и унапређење оперативне ефикасности [43].

Још једна од иновација која је значајно утицала на савремено друштво јесте примена IoT у различитим сферама живота и рада. У релевантној литератури често се истичу четири широка домена примене IoT технологија: транспорт и логистика, здравствена заштита, паметно окружење и лични и друштвени домен [44].

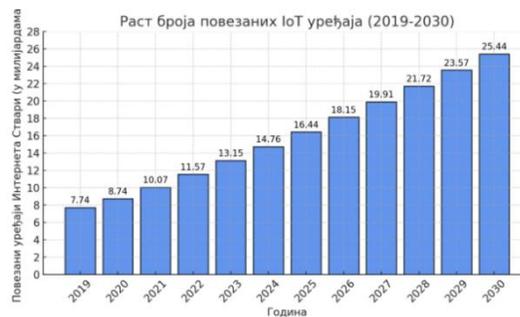
IoT обухвата велики број уређаја или система који поседују јединствену адресу Интернет протокола (IP), што омогућава интернет конекцију и комуникацију међу њима, као и са другим уређајима повезаним на мрежу. На тај начин IoT омогућава аутоматизовано прикупљање података, праћење стања и покретање операција у реалном времену.

ВИ и IoT представљају два кључна правца развоја савремене технологије. Њихова интеграција омогућава интелигентне апликације које анализирају информације из реалног света и доносе одговарајуће одлуке или предузимају радње уместо човека [44]. Управо због ове снажне повезаности, важно је да предузетници и професионалци у области технологије разумеју симбиотички однос IoT-а и ВИ, како би могли да креирају иновативна решења која доприносе ефикаснијем пословању.



Слика 2.2.3 Градивни елементи ИoТ-а, [140]

Ове радње и процеси које ИoТ уређаји иницирају често имају директан утицај на стварни свет. Једноставан пример је систем осветљења који укључује више светала након активирања једног сензора. Међутим, многе ИoТ апликације захтевају далеко сложенија правила и логичке повезаности између покретача и извршних радњи [101].

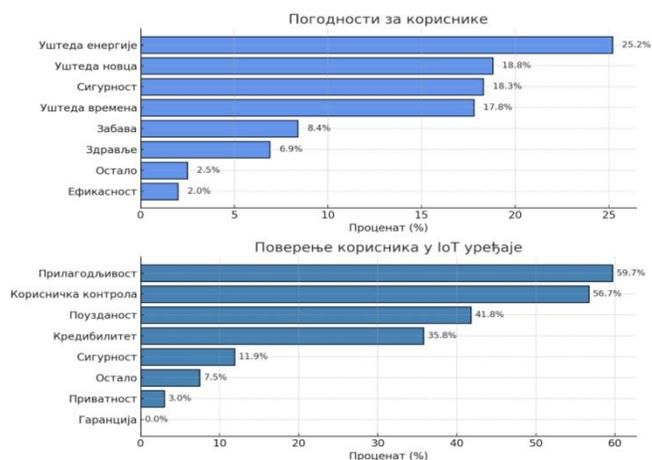


Слика 2.2.4 Пројекција броја повезаних ИoТ уређаја, [70]

Може се претпоставити да масовно ширење употребе ИoТ и његових уређаја доноси и бројне изазове. Коришћењем потенцијала дигитализације, произвођачи су у могућности да повећају ефикасност, продуктивност и квалитет кроз примену сајбер-физичких система, ИoТ и рачунарства у облаку [41].

Очекивано је да ће производни сектор наставити да убрзано напредује у области дигитализације, како све више компанија усваја концепте Индустије 4.0. У стручној литератури све чешће се користе термини „Индустија 4.1“ и „Индустија 5.0“, с обзиром на то да се преко 95% објављених научних радова и даље фокусира на модел Индустије 4.0 као глобално прихваћен оквир дигиталне трансформације.

На слици 2.2.5 приказане су процесне погодности и нивоа поверења у примену ИoТ технологија у паметним домовима.



Слика 2.2.5 Употреба ИоТ у паметним домовима, [156]

Пошто Индустрија 4.0 није успела да одговори на све веће захтеве за персонализацијом, уведен је термин Индустрија 5.0, који се односи на персонализовану производњу и јача улогу људи у производним процесима. Појаву термина Индустрија 5.0 прате различита схватања у вези са његовом дефиницијом и начином координације људи и машине [3].

Прелазак на индустрију 5.0 стога неће бити искључиво технолошки, већ ће имати утицај на друштво у целини. Европска унија предвиђа да ће Индустрија 5.0 бити посебно усмерена на човека, са позитивним ефекатом на добробит радника, јер ће их ставити у средиште радних процеса, оснажити и развијати њихове компетенције. Примена Индустрије 5.0 довешће до тога да ће око 85 милиона људи изгубити посао услед прерасподеле рада између запослених и аутоматизације, а повећаће се и јаз у радним вештинама [157].

Индустрија 5.0 свакако неће заменити индустрију 4.0, већ ће је допунити [19].



Слика 2.2.6 Дизајнирање паметних кућа, [117]

Дигитализација и аутоматизација пословних процеса помаже запосленима да лакше обављају послове и, пре свега, позитивно утиче на резултате компаније [62]. Индустрија 5.0 такође подразумева дубљу интеграцију ВИ у људски живот с циљем повећања људских

способности. Циљ Индустије 5.0 јесте развој „социјално паметних фабрика“, познатих и као „паметне фабрике будућности“ [71]. У том смислу, може се закључити да ће индустрија 5.0 утицати на развој бројних индустрија и тиме унапредити дигитално друштво.

Предности примене ВИ у ИоТ укључују:

- **Повећана оперативна ефикасност** – ИоТ уређаји интегрисани са ВИ могу анализирати податке како би открили обрасце и увиде и прилагодили рад система како би постали ефикаснији.
- **Способност прилагођавања током процеса** – Подаци се могу генерисати и анализирати да би се идентификовале тачке квара. Ово омогућава систему да изврши подешавања по потреби.
- **Аналитика података од стране ВИ** – Запослени не морају да троше време на праћење ИоТ уређаја јер системи ВИ обављају ову функцију уместо њих, што штеди време и новац.
- **Скалабилност** – Број уређаја повезаних на ИоТ систем може се повећати ради оптимизације.



Слика 2.2.7 Интернет конекција у периоду 2018-2024. године, [58]

ИоТ омогућава прикупљање података у реалном времену, што омогућава идентификацију могућности за оптимизацију и иновације. Паметни телефони, као део инфраструктуре ИоТ, пружају потрошачима бројне предности, укључујући побољшану комуникацију у смислу квалитета и брзине, већу аутономију и олакшану размену знања [84]. Паметна производња постаје фокус глобалне производње. Пета индустријска револуција

биће обележена тесном сарадњом између човека и машине, применом најсавременијих технологија и трансформацијом производних метода [103].

Табела 2.2.1: Преглед индустрије од 1.0 до 5.0 Извор података: према [103].

Индустрија	Почетак	Производња	Извори енергије	Материјали
1.0	1760	Машинска производња	Парна енергија	Гвожђе
2.0	1870	Транспортна трака	Електрична енергија	Челик
3.0	1969	Аутоматизација, ИКТ	Нуклеарна енергија	Силицијум
4.0	2000	Паметна производња	Обновљиви извори	Паметни материјали
5.0	–	Колаборативни работи	Обновљиви извори	Материјали за 3Д штампање

Главне карактеристике Индустрије 5.0 су одрживост, отпорност и оријентација на човека односно заснива се на три кључна елемента: усмерености на човека, одрживости и отпорности [19]. Познати аутори наводе да су основни принципи Индустрије 5.0 оријентацији ка људима, животној средини и прилагодљивости [71].

У оквиру Индустрије 5.0 развијен је и концепт друштва 5.0, који превазилази оквир производног сектора и фокусира се на човека. Он интегрише физички и виртуелни простор, напредне ИТ технологије, ИоТ, роботе, ВИ и мешану стварност, са циљем примене у свакодневном животу [19]. Напредне информационе технологије, ИоТ, роботи, ВИ и проширена стварност активно се примењују како би подржали раднике и унапредили радне процесе.

Једна од кључних иновација Индустрије 5.0 је коришћење колаборативних робота, који преузимају понављајуће и ризичне задатке, чиме се побољшава безбедност радних места. Технологија ВИ омогућава усмеравање радника на специјализоване задатке који захтевају стручно знање [19].

Прелазак на Индустрију 5.0 носи бројне изазове, укључујући дигиталну трансформацију рада, интеграцију ВИ на радном месту, увођење нових технологија у различите сфере живота, као и питања безбедности, етике, компатибилности људи и робота, оспособљености запослених и адекватне инфраструктуре [92]. Истраживања показују да технологије Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0 већ функционално унапређују садашње пословање, а њихов утицај не ограничава се само на индустрију, већ обухвата цело друштво.

Индустрија 5.0 отвара нову фазу развоја у којој су одрживост, дигитална трансформација и људска улога у центру индустријског напретка. Предности примене Индустрије 5.0 укључују повећање продуктивности и ефикасности производње, смањење људског физичког рада, стварање нових радних места, смањење времена производње и повећање креативности у пословним процесима [120]. Будућа радна места обухватају области као што су паметни системи, ВИ и роботика, где рад у роботици подразумева програмирање, одржавање, учење и развој нових робота.

За успешну примену Индустрије 5.0, предузећима је неопходно помоћи у реинжењерингу пословања кроз имплементацију пословних стратегија и решења заснованих на ВИ, ИоТ-у и технологијама Индустрије 4.0. Све технологије развијене у склопу Индустрије 4.0 нашле су примену у Индустрији 5.0, често са фокусом на људе, животну средину и отпорност на промене [71].

Истраживања указују да дигиталне вештине нису једине потребне у Индустрији 5.0. Десет најважнијих вештина за будуће пословање укључује четири дигиталне: дигиталну писменост, ВИ и анализа података, сајбер безбедност, рад са новим технологијама и оријентацију на податке. С обзиром на то да је концепт Индустрије 5.0 релативно нов, још увек не постоји консензус о њеној дефиницији. Међутим, доминантан тренд је стварање колаборативног окружења између људи и робота и развој паметног друштва [3].

Табела 2.2.2 приказује поређење циљева, системских приступа, људских фактора, омогућавајућих технологија и еколошких аспеката између Индустрије 4.0 и 5.0.

Табела 2.2.2 – Компарација Индустије 4.0 и Индустије 5.0, [3].

Категорија	Индустија 4.0	Индустија 5.0
Циљ	<ul style="list-style-type: none"> • Паметна производња (паметна масовна производња, паметни производи, паметан рад, паметан ланац снабдевања) • Оптимизација система 	<ul style="list-style-type: none"> • Одрживост • Еколошка одговорност • Фокус на човека • Друштвена корист
Системски приступи	<ul style="list-style-type: none"> • Праћење података у реалном времену • Интегрисани ланац који се протеже кроз све фазе животног циклуса 	<ul style="list-style-type: none"> • Коришћење технологије на етички начин ради унапређења људских вредности и потреба • Друштвено-технолошко доношење одлука, логистичка ефикасност и принципи дизајна засновани на људским вредностима
Људски фактори	<ul style="list-style-type: none"> • Поузданост човека • Интеракција човека и рачунара • Понављајући покрети 	<ul style="list-style-type: none"> • Задовољство и управљање запосленима • Учење и обука запослених
Омогућавајуће технологије и концепти	<ul style="list-style-type: none"> • Рачунарство у облаку • Интернет ствари (IoT) • Велики подаци и аналитика • Сајбер безбедност • Дигитална комуникација, дигитални близанци, вештачка интелигенција, проширена, виртуелна или мешовита стварност • Паметни сензори, аутономни роооти, комуникација машина-механизма • Хоризонтална и вертикална интеграција (PLC, SCADA, MES, ERP) • Адитивна производња (3D штампа) 	<ul style="list-style-type: none"> • Рачунарство у облаку • Интернет ствари (IoT) • Велики подаци и аналитика • Сајбер безбедност • Дигитална комуникација, дигитални близанци, вештачка интелигенција, проширена, виртуелна или мешовита стварност • Паметни сензори, аутономни роботи, комуникација машина-механизма • Интеграција технологије са менталним и емоционалним потребама људи • Колаборативни роботи и помоћна опрема • Биоинжењеринг • Квантно рачунарство
Еколошке импликације	<ul style="list-style-type: none"> • Системски приступи засновани на економији • Управљање отпадом, анализа великих података, адитивна производња, обновљиви енергетски системи • Одрживо снабдевање и управљање ресурсма • Продужени животни циклус производа • Паметни сензори, аутономни роботи, комуникација машина-механизма 	<ul style="list-style-type: none"> • Превенција отпада и рециклажа • Управљање енергијом и водом • Обновљива енергија: складиштење, пренос и анализа • Паметни и енергетски аутономни сензори

Посматрано из опште перспективе, прелазак са Индустије 4.0 на Индустију 5.0 праћен је и преоријентацијом са прилагођавања на персонализацију, при чему купцима више није обезбеђено једино универзално искуство, већ иновативно и персонализовано. Ова промена резултује интелигентним коришћењем података, с циљем смањења количине информација које људи примају у свакодневном животу [71].

У табели 2.2.3 представљене су неке од кључних разлика Индустија 4.0 и Индустије 5.0.

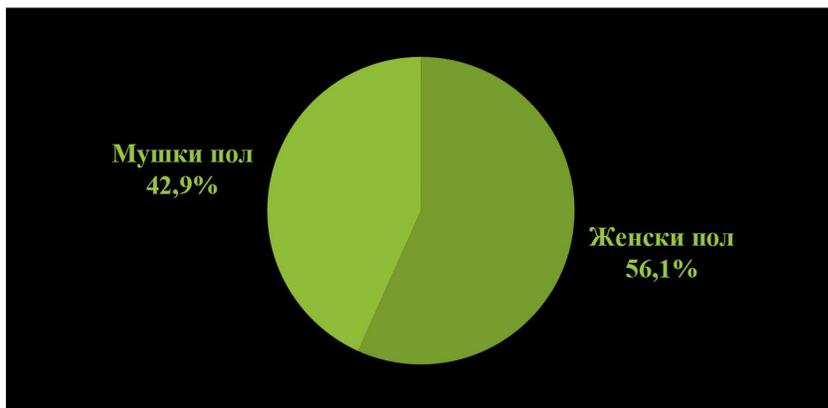
Табела 2.2.3 – Кључне разлике Индустије 4.0 и Индустије 5.0, [71].

Редни број	Индустија 4.0	Индустија 5.0
1.	Масовна кастомизација производа	Масовна персонализација производа
2.	Дигитално коришћење података	Интелигентно коришћење података
3.	Пружање јединственог искуства	Пружање иновативног искуства
4.	Боља координација машине и информационих технологија	Блиска сарадња човека и машине
5.	Прављење дигиталних фабрика	Прављење паметних фабрика будућности
6.	Завршетак задатака за мање времена по нижој цени	Извршавање прецизних и креативних задатака у краће време са нижим трошковима
7.	Дигитализација и аутоматизација применом информационих технологија	Глобализација производног система коришћењем напредних технологија

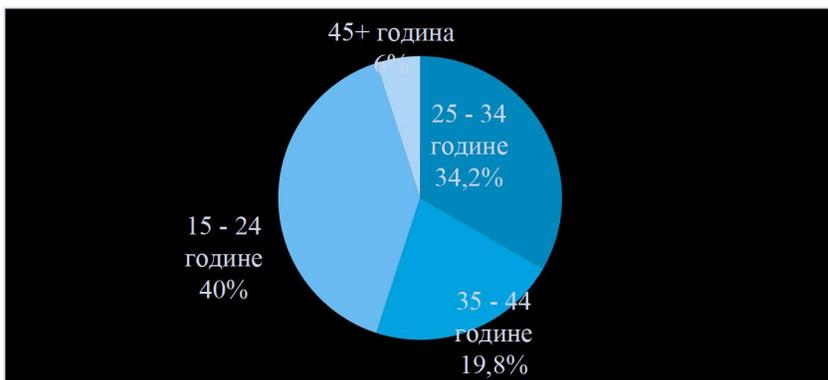
Предности Индустије 5.0 укључују повећану ефикасност и продуктивност производње, стварање нових радних места, смањење физичког рада, повећање креативност у пословним процесима и смањење времена производње. Индустија 5.0 није само визија будућности, већ представља нову прилику за компаније које желе да ускладе технологију, одрживост и људске ресурсе у циљу обликовања „фабрика будућности“. С друге стране, недостаци примене Индустије 5.0 према истраживањима, односе се на етичко понашање ВИ и робота, као и етички статус самих робота. Један од највећих страхова јесте могућност губитка радних места услед примене робота. Уколико роботи почну да преузимају одређене послове, вероватно је сигурно да ће јавност развити негативну перцепцију њихове употребе у пословању.

2.3. Анкета о стању процеса дигитализације у Републици Србији

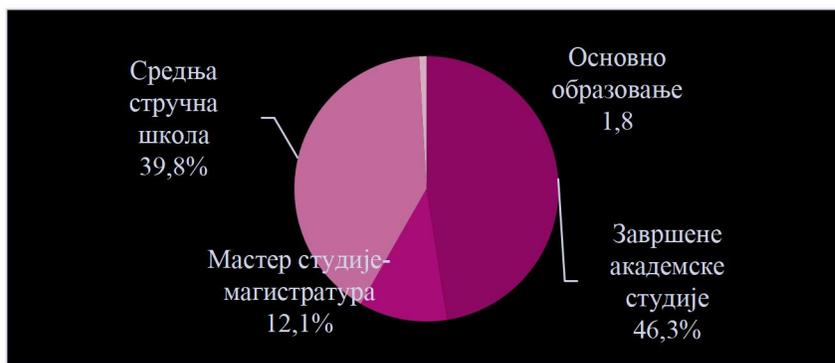
Слике 2.3.1–2.3.8 приказују демографске карактеристике испитаника, њихово радно ангажовање, коришћење информационих технологија и е-управе, као и резултате и користи дигиталних технологија.



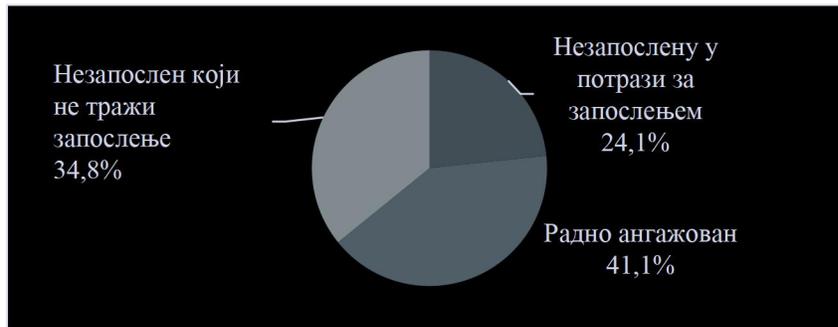
Слика 2.3.1 Процент испитаника према полу



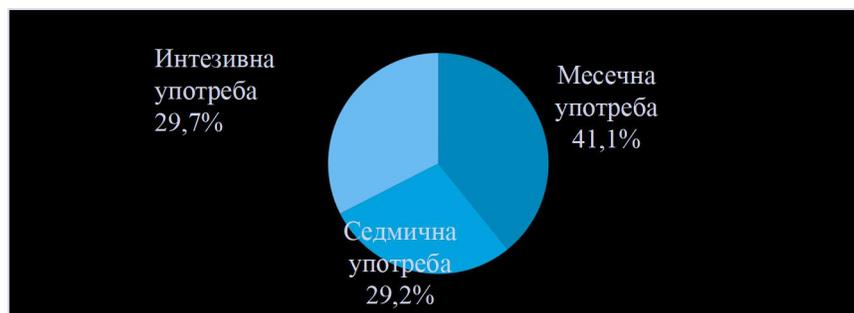
Слика 2.3.2 Старосна структура испитаника



Слика 2.3.3 Образовни профил испитаника

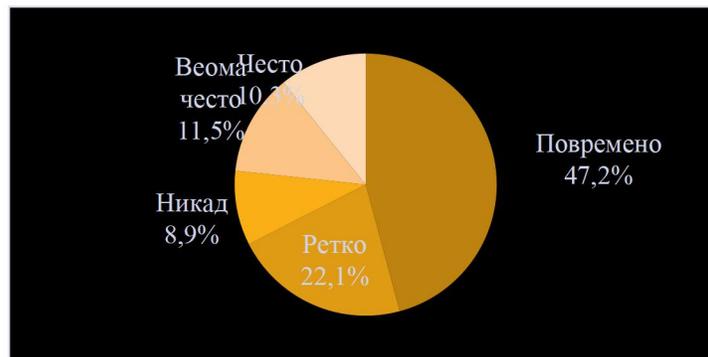


Слика 2.3.4 Радно ангажовање испитаника



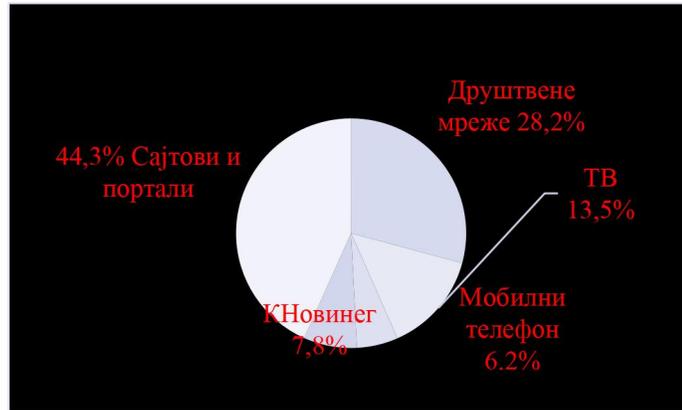
Слика 2.3.5 Ниво коришћења информационих технологија

Ниво активности испитаника на порталу е-управе



Слика 2.3.6 Коришћење е-управе за добијање информација

Начин прикупљања потребних информација?



Слика 2.3.7 Ефикасност приступа информацијама

Перцепција испитаника о ефектима дигиталних технологија на животни стандард



Слика 2.3.8 Резултати и користи од дигиталних технологија

Негативна мишљења често могу утицати на наше одлуке, посебно када их добијемо од пријатеља или познаника. У истраживању, 39 испитаника је изразило потпуно слагање са оваквим ставом, 9 испитаника се делимично слаже, док 35 испитаника немају мишљење на овај став, 29 испитаника се не слаже, а 8 испитаника уопште не слаже са оваквим ставом.

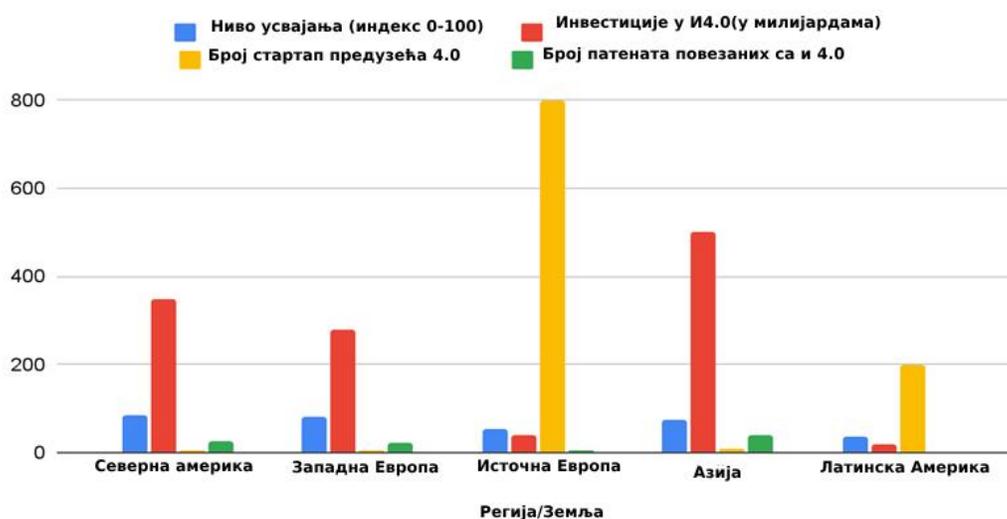
У следећој табели 2.3.1 приказани су резултати истраживања стања у свету у погледу Индустрије 4.0 . Из података се види да су тренутно највеће инвестиције у Индустрију 4.0 концентрисане у Азији, након које следе Северна Америка и западна Европа. Што се тиче стартап предузећа у области Индустрије 4.0, највећи број њих налази се у Источној Европи.

Табела 2.3.1 Стање земаља света обзиром на индустрију 4.0, [71]

Регија/земља	Ниво усвајања (индекс 0-100)	Инвестиције у I4.0 (милијарди USD)	Број start-up предузећа I4.0	Број патената повезаних са I4.0
Северна Америка	85	350	5	25
Западна Европа	80	280	4.5	22
Источна Европа	55	40	800	3.5
Азија	75	500	7	40
Латинска Америка	35	20	200	1

Према броју патената повезаних са индустријом 4.0 ситуације је приближно изједначена између Азије, Северне Америке и западне Европе. Слично томе, и ниво усвајања технологија Индустрије 4.0 је упоредив у овим регионима.

Поред табеларних резултата детаљан приказ ових података дат је на слици 2.3.9.



Слика 2.3.9 Приказ нивоа усвајања, стартап предузећа, инвеситција и броја патената, [71]

Очигледно је да ће Индустрија 5.0 бити остварена уз подршку 5G мреже, сензора и уређаја који ће бити непрекидно повезани на интернет, без обзира на доступност бежичних мрежа. Развој технологија везаних за ИоТ и интелигентне системе усмерава индустрију ка дигиталној трансформацији. Управо дигитална трансформација у контексту Индустрије 5.0 отвара могућности за одрживост, персонализацију и повећање ефикасности у производним процесима, где технологија не замењује, већ допуњује људску креативност.

Истраживања показују да је дигитализација већ дуго неизоставни елемент савременог пословања, али Индустрија 5.0 иде корак даље, омогућавајући интеракцију између људи и технологије. Индустрија 5.0 има потенцијал да побољша ефикасност и одрживост у индустријским производним срединама, логистици и интелигентном транспорту, користећи софистициране технологије. Могућности примене Индустрије 5.0 су широке, од паметних медицинских уређаја до аутономних возила [78].

Напред наведени резултати пружају референце и смернице за потпуно искоришћавање могућности које доноси најновији талас дигиталне револуције, убрзање укупног унапређења пословања и промоцију глобалног колаборативног развоја у интелигентној дигиталној трансформацији.

Приказани резултати показују да дигитална трансформација представља кључни ослонац унапређења пословних процеса, као и да се различите индустријске гране налазе у различитим фазама усвајања савремених технологија Индустрије 4.0 и 5.0. Иако се технолошка инфраструктура убрзано развија, потпуни ефекти дигитализације остварују се тек онда када технологија подржава људску креативност и доношење одлука. Управо у том контексту, ВИ постаје један од најважнијих покретача будућих промена, јер омогућава нови квалитет аутоматизације, анализе података и флексибилности система, што ће бити детаљније размотрено у наредном поглављу.

3. ТРЕЋЕ ПОГЛАВЉЕ - ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА И ИМПЛИКАЦИЈЕ НА ПОСЛОВНЕ ПРОЦЕСЕ

3.1. Теоретске основе вештачке интелигенције

Истраживање чланака о ВИ у производњи показало је да се већина њих фокусира на Индустрију 4.0 и Индустрију 5.0. Иако многа предузећа још увек нису у потпуности прихватила Индустрију 4.0, развија се нова индустријска револуција, односно Индустрија 5.0. Уопштено се може рећи да се Индустрија 5.0 заснива на трансформацији пословних процеса предузећа кроз употребу ИоТ.

Технологије ВИ представљају саставни и део Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, што их чини логичним предметом истраживања. Многи аутори помињу ВИ као саставни део концепата као што су: интелигентна производња, производња подржана ИоТ и производња подржана у облаку. Ови системи могу укључивати способност учења, расуђивања, препознавања образаца, решавања проблема и интеракције са околином. ВИ користи алгоритме, податке и рачунарску снагу за симулацију интелигентног понашања и обављање различитих задатака као што су препознавање слике, обрада природног језика, аутономна вожња, системи препорука и друго [30].

ВИ је интегрисана у различите процесе планирања и управљања производњом у Индустрији 4.0 и Индустрији 5.0, преузимајући иницијативу и одговорност за доношење одлуке у реалном времену [134]. Према подацима Републичког завода за статистику Србије, у 2023. години 9% компанија користило је технологију ВИ у пословању. Главни изазови стратегије Владе Републике Србије укључују заштиту података о личности, ризик од наслеђивања пристрасности и дискриминаторних фактора из података, промену потреба за постојећим професијама, обезбеђивање транспарентности и друга етичка питања.

Добројевић (2019) истиче да су брза индустријализација претходно доминантно пољопривредног друштва, организација производње по систему монтажне траке, стандардизација производа и елиминација специјализоване занатске производње створила потребу за великим бројем радника, писмених али са ограниченим сетом радних вештина. Образовање је било прилагођено масовној производњи кроз систем основних, средњих,

стручних и високих школа, који је производио кадрове просечног квалитета и са ограниченим сетом радних вештина [49].

ВИ присутна је и у маркетингу већ деценијама, а њени алати су се развијали током времена. Један од новијих примера је четбот ChatGPT. ChatGPT је скраћеница за „Четбот GPT”, где GPT означава „Generative Pre-trained Transformer“. „Generative”, јер може генерисати текст, „Pre-trained”, јер је претходно обучен на великом скупу података, и „Transformer” због употребе трансформативне архитектуре за обраду природног језика. ChatGPT омогућава интерактивну комуникацију са корисником, пружа информације, одговара на питања и пише текстове, слободно доступан на мрежи.

Уопштено, ВИ обухвата рачунарске системе који су способни да обављају задатке традиционално повезане са људском интелигенцијом – као што су предвиђање, препознавање објеката, тумачење говора и генерисање природног језика [44]. Рачунарски вид омогућава машинама да анализирају и тумаче визуелне информације, што је кључно за технологије као што су аутономна возила и препознавање лица.

ВИ се веома брзо развија и може поједноставити многе задатке, обављајући рутинске и понављајуће активности брже и ефикасније од човека. У пословном контексту, ВИ се користи за оптимизацију процеса кроз машинско учење, обраду природног језика и рачунарски вид, што доприноси повећању пословне вредности и продуктивности запослених [137].

3.2. Циљ вештачке интелигенције

Циљ ВИ је стварање рачунарско интелигентних система који се могу континуирано надограђивати и унапређивати током времена.

Решавање сложених проблема

ВИ је дизајнирана да решава проблеме које људи не могу да реше. Коришћењем напредних алгоритама, ВИ системи се истичу у анализи података, добијању увида и пружању ефикасних решења проблема [7].

Аутоматизација и рационализација операција

Централни циљ ВИ је аутоматизација, ослобађање људи од понављајућих активности, смањење грешака и оптимизација расподеле ресурса. Ово омогућава организацијама да повећају ефикасност и преусмере људске напоре на креативније и стратешке аспекте пословања [7].

Машинско учење за континуирано побољшање

Интегрисање машинског учења у ВИ системе омогућава учење из података, прилагођавање променама и побољшање ефикасности током времена. Овај итеративни процес омогућава ВИ да предвиђа, идентификује обрасце и унапређује доношења одлука [14].

Напредак у обради природног језика

ВИ има за циљ да премости јаз у комуникацији између људи и машина, укључујући разумевање, стварање и тумачење природног језика. То доводи до иновација као што су гласовна помагала, четботови и услуге превођења [7].

Оснаживање машина рачунарским видом

ВИ омогућава машинама да тумаче и разумеју визуелне информације. Ово налази примену у препознавању слика, детекцији објеката и развоју аутономних возила, који стварају интелигентне системе за визуелну интеракцију [7].

Интеграција вештачке интелигенције у роботiku

Циљ је стварање робота који могу да перципирају своје окружење, самостално обављају задатке и доносе одлуке. Индустрија 5.0 уводи нову дефиницију робота, а то је да је робот колаборативна машина која ради са људима и повећава продуктивност у различитим индустријама [7].

Имитација људске експертизе кроз експертске системе

ВИ настоји да развије експертне системе који опонашају људско знање у одређеним областима. Ови системи, користе се у медицинској дијагностици, финансијској анализи и сложенем доношењу одлука [7].

Аутономни системи и апликације у стварном свету

Развој аутономних система представља примену ВИ у стварном окружењу. Ови системи се крећу сложеним окружењима без људске помоћи и ослањају се на алгоритме ВИ за доношење одлука и адаптивне одговоре [7].

Адресирање етичких разматрања

Етички аспекти су кључни у развоју ВИ са фокусом на решавање пристрасности у алгоритмима, обезбеђивање транспарентности и укључивање етичких оквира. Ово омогућава одговорну примену ВИ и гради поверење у технологију [7].

Промовисање сарадње човека и вештачке интелигенције

Циљ је промоција сарадње између људи и ВИ, у којој ВИ доприноси унапређењу људских способности, стварајући иновативна решења и повећану продуктивност у различитим областима [7].

ВИ омогућава машинама обављање функција које традиционално захтевају људски ум [130]. Deloitte истиче да технологија ВИ, у оквиру процеса оптимизовања пословања, пружа конкурентску предност предузећима [46]. У неким случајевима, процес учења ВИ контролишу људи појачавајући добре одлуке и ограничавајући лоше, док постоје и системи који уче без људског надзора [65].

ВИ се користи у свим индустријама и служи као основа рачунарског учења и помаже у доношењу одлука на основу података, као и у обављању понављајућих или компјутерски вођених задатака [65].

3.3. Еволуција вештачке интелигенције у Републици Србији

Са технологијама као што су индустријски ИоТ, аналитика великих података, рачунарство у облаку и сајбер-физички системи, утврђено је да ВИ доприноси производњи тиме што производне операције чине ефикаснијим у погледу коришћења производних ресурса, бржим и одрживијим [136].

Табела 3.3.1 Главне прекретнице у развоју вештачке интелигенције кроз историју,[137]

1943: McCulloch & Pitts	Моделирање неуронске мреже и повезивање са изјавом. Логика.
1951: Marvin Minsky	Развој машине неуронске мреже.
1956: McCarthy	Вештачка интелигенција први пут представљена на конференцији.
1958: McCarthy	Проналазак LISP програма
1965: Robinson	Развој израчунавања резолуције за предвиђање логике.
1972: Alvin Colmerauer	Проналазак логичког програмског језика PROLOG.
1976: Shortliffe & Buchanan	Развој експертског система који дијагностикује болести и инфекције.
1995: Vapnik	Развој методе вектора подршке (angl. suport vector machine, или SVM).
1997	Рачунар IBM побеђује Светског шаховског првака Гарија Каспарова.
2006	Сервисни роботи постају важан истраживачки алат.
2009	Google-ов први самовозећи аутомобил вози на аутопуту.
2015	Дубоко учење омогућава веома добру класификацију слике.
2019	DeepMind AlphaStar постиже натпросечну стопу на StarCraft 2 и премашује 99,8 % људских играча.
2020	Microsoft представља Turing, генерацију природног језика, који је највећи језички модел са 17 трилиона параметара.
2021	NASA уз помоћ ВИ открива 301 егзопланету изван нашег Сунчевог систем.

ВИ, у смислу њене употребе у производњи, дефинисана је на више начина. Једна од дефиниција односи се на способност рачунара да обављају когнитивне карактеристичне за људски ум, као што су перцепција, расуђивање, учење и решавање проблема [137]. Такође, важна карактеристика ВИ јесте њена могућност да прима и обрађује велике количине, односно високодимензионалне податке, и да их претвара у корисне информације применом различитих аналитичких канала.

Развој ВИ може се приказати на следећи начин [16]:

1936: Британски математичар Алан Туринг формулише концепт „Турингове машине”, доказујући да рачунарска машина може да спроведе когнитивне процесе под условом да су подељени у неколико појединачних корака и представљени алгоритмом. То је поставило темеље савремене ВИ.

1956: На Дартмут колеџу у Њу Хемпширу одржана је конференција на којој је први пут предложен термин „вештачка интелигенција” (John McCarthy). Након тога, развијен је први програм ВИ који је успешно приказивао математичке теорема.

1966: Немачко-амерички научник Joseph Weizenbaum развија компјутерски програм „ELIZA” који симулира комуникацију са људима. користећи скрипте за различите улоге у комуникацији, попут психотерапеута.

1972: ВИ се интегрише у медицинску праксу. Развијен је експертни систем који подржава процес дијагностике и лечења (Ted Shortliffe), ослањајући се на знање експерата приказано кроз правила и базе знања.

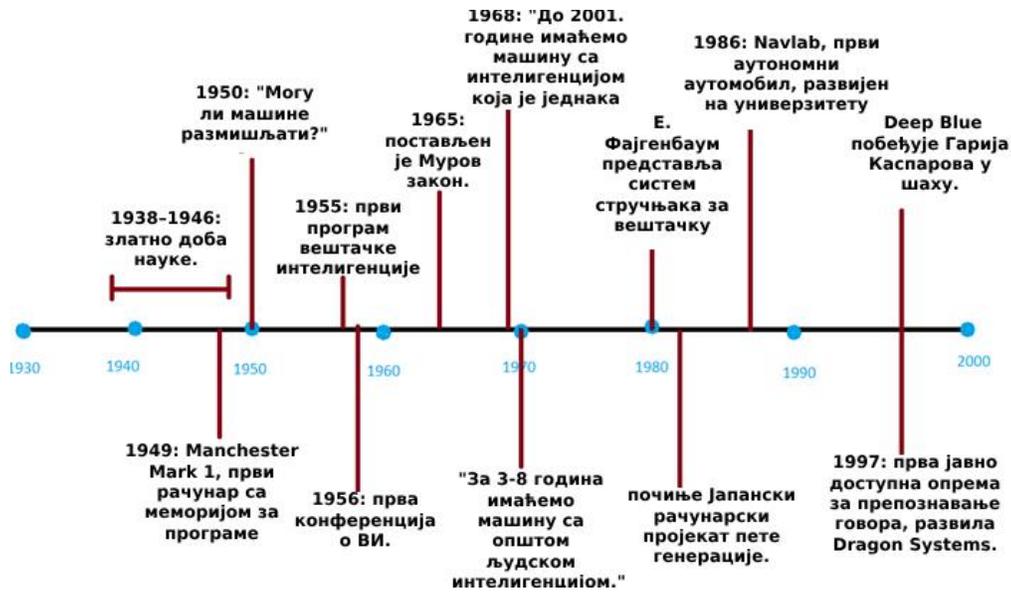
1986: Terrence J. Sejnowski и Charles Rosenberg стварају програм „NETtalk”, способан да чита и изговара речи, укључујући и оне које раније није „познавао”, што представља значајан напредак у машинском учењу.

1997: Шаховски рачунар „Deep Blue” по први пут побеђује Светског шампиона у шаху на турниру, Гарија Каспарова, што је имало огroman симболички значај за јавност.

2011: Развој хардвера омогућава широку примену ВИ у свакодневници, дигитални асистенти попут „Siri“-ја постају глобално популарни. Те године, IBM-ов „Watson“ побеђује најбоље људске играче у квизу *Jeopardy!*, демонстрирајући разумевање природног језика и брзо проналажење тачних информација.

2018: Долази до нових пробоја, Google „Duplex“ телефонира и заказује термин код фризера, а да човек на другој страни не примети да разговара са машином, што показује изузетно реалистичну симулацију људског говора.

На основу овог развоја, системима је омогућено да обрађују велике количине примера комуникације и тако побољшавају сопствене перформансе. Због тога чет-ботови (*chatbots*) могу да воде реалне разговоре са људима, док системи за препознавање слика уче препознавање и описивање објеката анализирајући милионе узорака. ВИ се стога усмерава на три кључне когнитивне способности: учење, расуђивање и самокорекцију [24].



Слика 3.3.1 Почеди развоја вештачке интелигенције, [102]

Концепт неживих објеката обдарених интелигенцијом присутан је још у антици. У грчкој митологији, бог Хефест приказан је са слугама од злата, налик роботима. У древном Египту, инжењери су конструисали статуе богова за које се у записима свештеника наводило да поседују божанске моћи. Током историје, мислиоци попут Аристотела, шпанског теолога из 13. века Ramona Llulla, као и филозофа Renéa Descartesa и Thomasa Bayesa, користили су алате и логичке приступе свог времена да опишу људске мисаоне процесе као симболе, постављајући тако темеље за концепте ВИ као што је представљање општег знања [24].

Машинско учење игра кључну улогу у развоју паметне производње, представљајући спону између ВИ, Индустрије 4.0, и Индустрије 5.0. Претпоставља се да ће Индустрија 5.0 бити заснована на коегзистенцији људи и робота, као и на развоју биоэкономије, што ће додатно унапредити концепт одрживе и персонализоване производње.

Сагледавајући историјски развој и технолошке домете ВИ, јасно је да је ВИ прерасла оквире теоријских разматрања и постала један од кључних покретача савремених индустријских и друштвених трансформација. Разумевање њених основних принципа и домена примене представља полазну основу за увођење ових технологија у различите производне и услужне системе. У том контексту, неопходно је сагледати различите врсте ВИ, њихове карактеристике и степен аутономије који поседују, како би се јасније уочиле могућности и изазови њихове примене у индустрији и ширем друштвеном окружењу.

3.4. Врсте вештачке интелигенције

С обзиром на снагу и широк спектар примена ВИ, аутор Christopher (2025) издваја неколико основних врста ВИ:

3.4.1. Уска вештачка интелигенција

Уска ВИ, позната и као слаба ВИ, односи се на примену ВИ у строго дефинисаним и ограниченим задачама. Ови системи су програмирани да извршавају само један специфичан тип задатака, без постојања самосвести или општих когнитивних способности које би им омогућиле самостално интелигентно деловање ван иницијалног опсега примене. Иако је функционалност уске ВИ ограничена, она представља основу за развој напреднијих облика интелигентних система, јер сваки технолошки напредак у овом домену доприноси потенцијалном развоју *јаке* ВИ у будућности.

Примери уске ВИ [88]:

- **Системи за препознавање слика и лица** – као што су алгоритми који се користе на друштвеним мрежама ради препознавања људи на фотографијама.
- **Роботи и конверзацијски асистенти** – на пример, популарни виртуелни асистенти као што су Google Assistant, Siri и Alex, као и једноставнији роботи који подржавају корисничке услуге.
- **Самовозећа возила** – полуаутономни и аутономни системи попут Tesla аутомобила, као и дронови индустријски роботи.
- **Модел за предиктивно одржавање** – системи који на основу података прикупљених са сензора предвиђају истрошеност компоненти и правовремено сигнализирају потребу за интервенцијом.

3.4.2. Широка вештачка интелигенција

Широка ВИ подразумева системе који поседују пуно знање и когнитивне способности, тако да њихов рад не би био различит од људског. Такви системи би могли самостално да

доносе одлуке, били би свесни свог деловања, а њихова главна предносту односу на човека огледала би се у способности обраде огромне количине података у кратком временском периоду. Овај тип ВИ представља људску интелигенцију која се назива и вештачком општом интелигенцијом (*Artificial General Intelligence – AGI*) која истовремено обухвата логичко закључивање, свест и флексибилност у учењу. Насупрот томе, системи засновани на уској ВИ, иако често ефикаснији од људи у специфичним задацима, немају могућност генерализације, нити дубље когнитивне способности[88].

Системи опште ВИ требало би да поседују способност да, пред новим и непознатим задацима, користе расположиво знање и логику из других области, како би самостално пронашли решење. Управо из тог разлога, очекује се да би овакви системи могли успешно проћи Тјурингов тест, који се сматра једним од кључних критеријума интелигентног понашања [24].

Главне технике ВИ које се користе у развоју интелигентних система су:

1. системи засновани на знању (KBS),
2. неуронске мреже (neural networks– NN),
3. нејасна логика, (fuzzy logic),
4. генетски алгоритми (GA) и
5. закључивање засновано на случају (case-based reasoning – CBR), [36].

ВИ, коју називамо пуноправном, настоји да обавља различите задатке који би иначе захтевали човека. Она се заснива на три аспекта [153]:

1. генерализација знања из једног домена на други,
2. способност планирања будућности на основу стеченог знања и искуства и
3. способност прилагођавања променама у окружењу.

Иако научници активно раде на развоју опште ВИ, она је и даље у домену теоријских разматрања и представља визију будућности, а не доступну технологију [153].

Основна разлика између уске и опште ВИ огледа се у нивоу интелигентности: док уска ВИ репродукује поједине когнитивне функције без самосвести или разумевања, општа ВИ тежи истинском менталном капацитету који омогућава мишљење, опажање и закључивање равноправно са људима. Потпуна ВИ, за разлику од уске ВИ, може се

изједначити са стварном интелигенцијом, јер подржава идеологију да свака машина или рачунар има свој ум који опажа, мисли и доноси закључке попут људског ума [153].

ВИ се може поделити у четири различите групе:

1. реактивни системи,
2. системи са ограниченом меморијом,
3. теорија ума и
4. самоспознаја.

Реактивна вештачка интелигенција	Системи ограничени меморијом	Теорија ума	Самоспознаја
<ul style="list-style-type: none"> • Добро за једноставне задатке сортирања и препознавања образаца. • Добро за сценарије у којима су сви параметри јасно наведени; Бржи је од људи јер обрађује податке много брже. • Није могуће извршити сценарије у којима подаци нису потпуни или је потребно разумевање прошлости. 	<ul style="list-style-type: none"> • Може да обавља задатке са више ограничених података. • Зна како да користи старе податке за доношење закључака. • Способан је за сложеније задатке, као што су самовозећи аутомобили, али је и даље осетљив на истакнуте случајеве. • Ово је тренутно стање вештачке интелигенције, а неки кажу да смо ударили у зид са даљим развојем. 	<ul style="list-style-type: none"> • Она је у стању да разуме људске мотиве и расуђивање. То може створити искуство за појединца који је прилагођен њиховим мотивима и потребама. • Он може да учи из мањих база случајева јер разуме мотиве и намере. • Сматра се следећом прекретницом у развоју вештачке интелигенције. 	<ul style="list-style-type: none"> • Интелигенција на нивоу људске интелигенције. Такође га може пристићи.

Слика 3.4.1 Четири врсте вештачке интелигенције, [109]

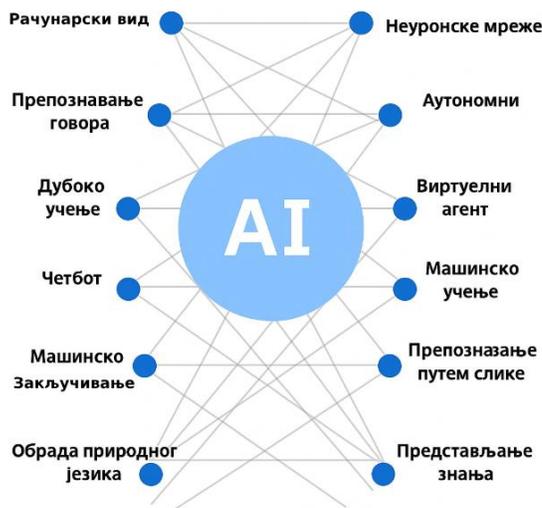
Познате су две категорије ВИ: слаба ВИ (Weak AI) и снажна ВИ (Strong AI). Chatbot је један од алата ВИ који је стекао ширу пажњу и маркетиншких професионалаца и академика. Иако је у питању слаба ВИ, јер је усмерена на обављање конкретних задатака без разумевања њихове суштине, њена примена демонстрира колико ВИ већ има значајну улогу у свакодневном животу и пословном окружењу. Управо разликовање врста ВИ омогућава јасније разумевање садашњих могућности и будућних очекивања, па је од посебног значаја детаљније размотрити овај концепт.

3.5. Подручја вештачке интелигенције

Подручја ВИ обухватају: компјутерски вид (*Computer vision*), препознавање говора (*Speech recognition*), дубоко учење (*Deep learning*), четботове (*Chatbots*), машинско резонување (*Machine reasoning*), обраду природног језика (*Natural language processing*), неуронске мреже (*Neural networks*), аутономизација (*Autonomics*), виртуелне агенте (*Virtual agents*), машинско учење (*Machine learning*), препознавање слика (*Image recognition*) и представљање знања (*Knowledge reprsenetation*) (види слику 3.5.1).

Компјутерски вид се дефинише као област која настоји да развије технике које омогућавају рачунарима да „виде“ и разумеју садржај дигиталних слика, као што су фотографије и видео записи. Брзо растућа примена генеративних ВИ алата има све већу улогу у образовању, маркетингу, као и у развоју и дизајну производа [123].

Када машине могу да обрађују, анализирају и интерпретирају визуелне податке у реалном времену, оне постају способне да снимају и тумаче окружење, што омогућава широку примену у областима као што су аутономна возња, роботика, медицина и безбедност [21].



Слика 3.5.1 Области вештачке интелигенције, [151]

Као пример ВИ доступног широј јавности може се навести chatbot „ChatGPT“, развијеног од стране компаније OpenAI, доступног за употребу од новембра 2022. године [4]. ВИ постала је централни елемент у пословању многих данас највећих и најуспешнијих

компаније, попут Alphabet-a, Apple-a, Microsoft-a и Meta-e, где се технологије ВИ користе за унапређење перформанси и стицање конкурентске предности. На пример, у оквиру компаније Alphabet, ВИ има кључну улогу у развоју Google претраживача, самовозећих аутомобила, као у оквиру Google Brain тима, који је развио архитектуру неуронских мрежа трансформатора, основу савремених достигнућа у области обраде природног језика [24].

Узимајући у обзир различите функционалности ВИ, аутор Joshi (2019) наводи следеће врсте ВИ [82]:

Реактивне машине (*Reactive Machines*)

Они представљају најстарији облици система ВИ са веома ограниченим могућностима. Они опонашају способност људског ума да реагује на различите врсте стимуланса. Засноване су на реаговању на тренутни стимуланс, без разумевања прошлости или предвиђања будућности. Реактивне машине немају меморију, па самим тим не могу да користе претходна искуства ради доношења одлука у садашњем тренутку.

Машине са ограниченом меморијом (*Limited Memory*)

Ова врста машина, поред могућности реактивних система, може да учи из историјских података и да на основу њих побољшава доношење одлука. Савремени ВИ системи засновани на машинском учењу и дубоком учењу функционишу управо на овом принципу, модели се обучавају на великој количини података који се чувају као референтни образац за решавање будућих проблема.

Теорија ума (*Theory of Mind*)

Овај ниво ВИ тренутно је у развоју и представља значајан корак у правцу стварања ВИ која разуме људске потребе, емоције, уверења и мисаоне процесе. Циљ је развој система који ће моћи да ступи у сложенију интеракцију са људима, препознајући њихова психолошка стања и адекватно реагујући на њих.

Самосвест (*Self-awareness*)

Ова врста ВИ тренутно постоји само на теоријском нивоу. Очекивања су да би овакви системи, поред способности разумевања и изазивања емоција код субјеката са којима комуницирају, поседовали и сопствене емоције, потребе, уверења и жеље. Такав ниво ВИ подразумевао би постојање свести о себи и сопственом постојању.

Као што су приметили Ghosh и сарадници (2019), употреба ВИ у већим организацијама порасла је за више од 70% током последњих година [63]. Истраживања

показују да чак 80% великих компанија већ активно интегрише ВИ у своје пословне процесе [63]. ВИ значајно обликује економске и друштвене токове, са потенцијалом да до 2030. године оствари значајан утицај на раст глобалног БДП-а.

Према подели заснованој на функционалним областима, ВИ обухвата следеће категорије [89]:

- Машинско учење (*Machine learning*);
- Неуронске мреже (*Neural Networks*);
- Роботика (*Robotics*);
- Експертски системи (*Expert Systems*);
- Обрада природног језика (*Natural Language Processing*; NLP);
- Мека логика (*Fuzzy Logic*).



Слика 3.5.2 Области вештачке интелигенције, [89]

Машинско учење је техника која омогућава рачунарима да самостално уче из података, без директне људске интервенције. Машинско учење представља једну од централних области ВИ, са фокусом на развој алгоритама који омогућавају откривање образаца у подацима и предвиђање будућих исхода.

Један од најважнијих трендова у савременом развоју ВИ јесте континуирани напредак машинског учења, који омогућава системима да се адаптирају и унапређују своје перформансе током времена. На тај начин, машинско учење аутоматизује креирање аналитичких модела и приближава технолошке системе концепту интелигентног понашања, самоанализи и прилагођавању окружењу.

Применом метода заснованих на неуронским мрежама, статистици, оптимизацији и акционим истраживањима, омогућава се откривање „скривених” информација у подацима без потребе за експлицитним програмирањем [87]. Ова технологија већ је омогућила значајне иновације, као што су препознавање слика и говора, а сматра се и једним од главних покретача преласка са традиционалне индустрије на концепт Индустрије 4.0.

У области здравства, алгоритми машинског учења анализирају медицинске податке ради предвиђања исхода лечења и подршке клиничком одлучивању [145]. Такође, машинско учење има кључну улогу у развоју аутономних возила, обрађујући велике количине података са сензора и камера ради безбедне навигације [99].

Постоје следеће врсте машинског учења [145]:

Контролисано (надгледано) учење (*Supervised learning*) представља врсту машинског учења код којег је циљна променљива унапред дефинисана у скупу података који се користи за обуку модела. Алгоритам на основу овако означених (анотираних) података учи да препознаје корелације и зависности између улазних променљивих и жељеног излаза, што омогућава тачну класификацију или предвиђање будућих исхода.

Током процеса обуке, модел постепено прилагођава вредности тежина унутар своје структуре све док се не постигне оптималан ниво перформанси. Најчешће коришћене методе контролисаног учења укључују класификацију, линеарну и логистичку регресију, векторске машине за подршку, као и различите моделе засноване на неуронским мрежама.

Контролисано учење налази широку примену у задацима где се на основу историјских података може предвидети вероватноћа појаве одређених догађаја, као што су предиктивна аналитика, откривање превара, медицинска дијагностика и многе друге савремене апликације.

Учење без надзора (*Unsupervised learning*) представља врсту машинског учења у којем алгоритам самостално анализира податке и открива унутрашње обрасце, без унапред дефинисане циљне променљиве или историјских ознака. Циљ је идентификовање природне структуре података, као што су груписање (кластеризација), повезаности, сличности или одступања.

Ови алгоритми аутономно истражују скуп података, настојећи да препознају скривене односе и да формирају логичке целине, што их чини посебно корисним у случајевима када подаци нису означени или када је потребно открити нове увиде у постојеће информације.

Учење без надзора проналази примену у бројним областима, као што су анализа података, сегментација тржишта, препоруке производа, откривање аномалија, препознавање образаца и слика, као и креирање стратегија продаје заснованих на корисничком понашању.

Учење појачања (*Reinforced machine learning*) представља аутономни систем учења у којем алгоритам кроз интеракцију са окружењем стиче искуство на основу награда или казни које добија за извршене акције. Током бројних итерација, алгоритам испробава различите поступке и, на основу повратних информација, прилагођава своју стратегију са циљем постизања што бољег укупног исхода.

За разлику од надгледаног учења, модел у учењу појачања не располаже унапред означеним подацима за обуку. Уместо тога, учење се одвија методом покушаја и погрешака, при чему алгоритам постепено открива које акције воде ка највећој награди у одређеном окружењу [121].

Учење појачања се интензивно примењује у роботикама, системима препоруке, играма, оптимизацији управљачких система и задацима у којима је потребно адаптивно понашање засновано на динамичким условима окружења.

Полу-надгледано учење (*Semi-supervised learning*) представља приступ који се налази између надгледаног и учења без надзора. Овај тип учења користи комбинацију означених и необележених података, при чему је број означених примера знатно мањи у односу на необележене. На тај начин полу-надгледано учење постаје корисно у ситуацијама када је прикупљање или анотација података скупа, сложена или временски захтевна.

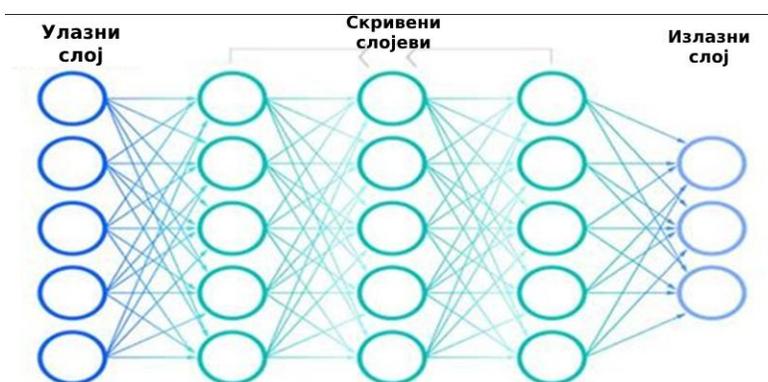
Алгоритми полу-надгледаног учења настоје да искористе предности ограниченог броја означених података како би структуру и обрасце у већем скупу необележених података учинили јаснијим и применљивим за ефикасније предвиђање. У овом типу учења најчешће се примењују методе класификације и регресије.

У пракси, полу-надгледано учење је посебно корисно у областима где постоји велики број података, али мало поуздано означених примера, попут анализе и обраде медицинских слика [121].

Дубоко учење (*Deep learning*) представља подкуп машинског учења који се заснива на употреби вишеслојних вештачких неуронских мрежа, чија је основна идеја да у одређеној мери имитирају структуру и принципе функционисања људског мозга. Иако ова симулација не достиже сложеност биолошких неуронских система, она омогућава моделима да уче из

веома великих и комплексних скупова података и обрађују их на вишем нивоу апстракције [147].

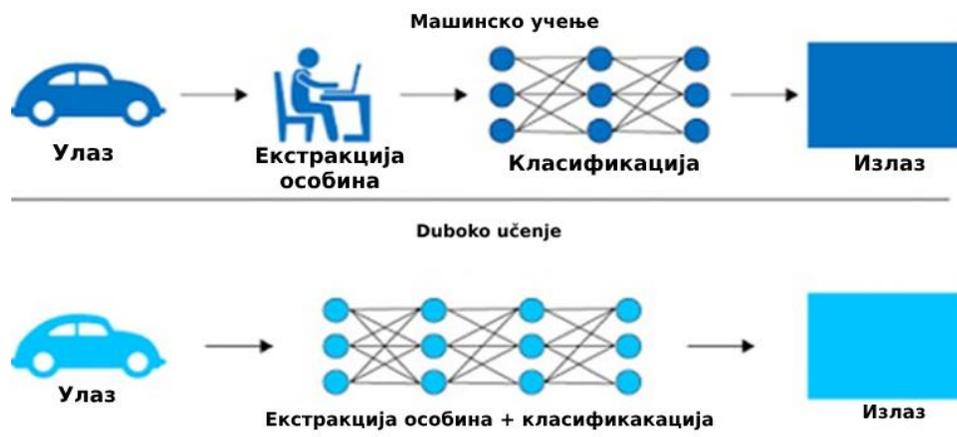
Архитектура дубоког учења може укључивати велики број скривених слојева кроз које подаци пролазе и постепено се трансформишу, што омогућава алгоритму да „филтрира“ и препозна сложене обрасце у подацима. Док класичне неуронске мреже садрже мали број слојева или неурона, дубоке неуронске мреже могу достићи више од 100 слојева [104]. Ова својства чине дубоко учење веома моћним, нарочито у областима где традиционалне методе машинског учења показују ограничења.



Слика 3.5.3 Приказивање дубоких неуронских мрежа, [72]

Дубоко учење данас представља основу бројних напредних система ВИ, који омогућавају већу аутоматизацију, интелигентну обраду информација и извођење задатака без директне људске интервенције. Најзаступљеније примене дубоког учења обухватају [31]:

- виртуелни асистенти (на пример, Siri, Alexa, Cortana и др.),
- четботове,
- здравствене апликације (на пример, дијагностички системи),
- аутоматско генерисање описа слика и
- аутономија возила.



Слика 3.5.4 Разлика између машинског учења и дубоког учења. [104]

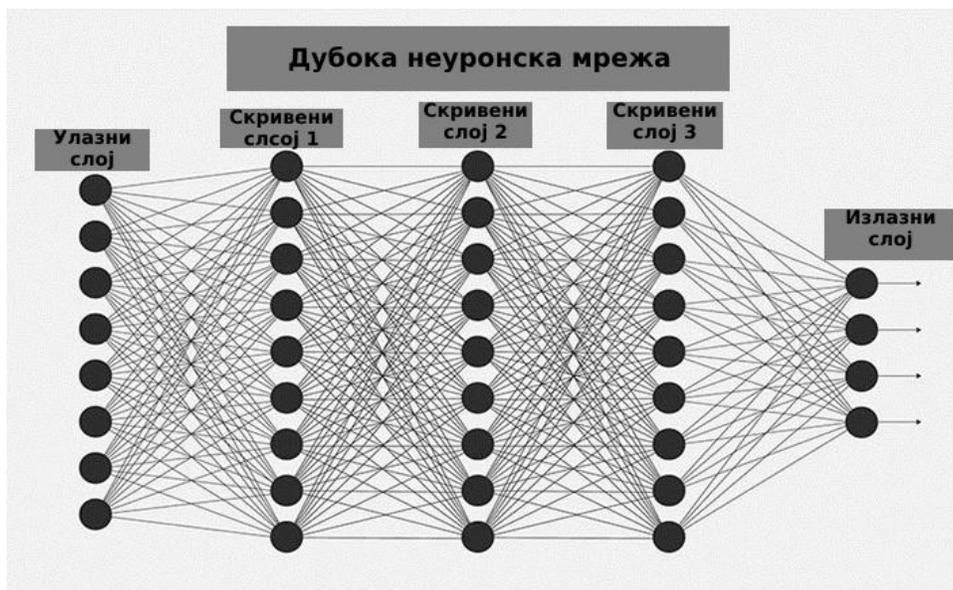
Најзначајније архитектуре дубоког учења данас укључују конволутивне неуронске мреже (*Convolutional Neural Networks – CNN*), које се најчешће користе у обради слика и видео записа, јер могу ефикасно да издвајају визуелне карактеристике попут ивица, облика и текстура. Рекурентне неуронске мреже (*Recurrent Neural Networks – RNN*) и њихове напредне варијанте, као што је *Long Short-Term Memory (LSTM)*, дизајниране су за рад са секвенцијалним подацима, што их чини изузетно применљивим у обради природног језика, препознавању говора и временским серијама. У новије време, трансформер архитектуре су постале доминантне у задацима обраде текста, захваљујући механизму пажње (енг. *attention mechanism*), који омогућава моделу да истовремено анализира све делове секвенце и ефикасније разумева контекст. Ове архитектуре представљају технолошку основу модерних генеративних модела, попут ChatGPT-а, и значајно доприносе убрзаном развоју области ВИ.

Неуронске мреже (*Neural networks*) представљају скуп алгоритама машинског учења који служе за препознавање и моделовање сложених односа у подацима, користећи принципе инспирисане функционисањем људског мозга [145]. Оне се састоје од узајамно повезаних вештачких неурона организованих у слојеве, где сваки слој трансформише улазне податке и прослеђује их даље, чиме омогућава постепено извлачење све апстрактнијих карактеристика.

Неуронске мреже представљају основу дубоког учења, јер су способне да обрађују велике количине података и формирају високо комплексне моделе. Уколико неуронска

мрежа садржи више од три слоја (улазног, излазног и најмање једног скривеног слоја), говоримо о дубокој неуронској мрежи, односно дубоком учењу (енг. *Deep Learning*) [72].

На Слици 3.5.5 приказана је структура са вишеструким слојевима, која илуструје принцип функционисања дубоких неуронских мрежа.



Слика 3.5.5 Приказ неуронске мреже, [28]

Роботика је интердисциплинарна област науке и технологије која обједињује машинство, електротехнику, информатику и ВИ. Роботи се дефинишу као програмабилне машине способне да самостално или полуаутономно извршавају одређене задатке, при чему њихов рад подразумева континуирану интеракцију са окружењем. Управо та интеракција представља изазов за системе ВИ, јер је неопходно управљање великим бројем степени слободе, као и успешно реаговање на сензорне податке који често могу бити непотпуни или оптерећени шумом.

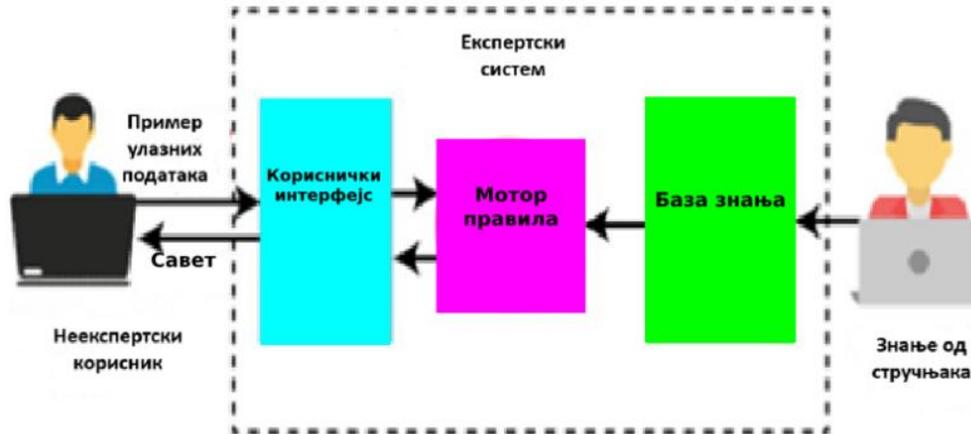
Развој аутономних робота подразумева истовремени дизајн физичке структуре, контролних механизма и алгоритама који омогућавају управљање положајем, брзином и силом, што је кључно за прецизно и безбедно извршавање задатака [105]. У том контексту, роботика представља једну од најдинамичнијих области ВИ, јер роботе све више срећемо у индустријским системима где доприносе смањењу физичког оптерећења и повећању ефикасности рада [145].

Посебан развојни правац у овој области представљају колаборативни роботи, односно *коботи* (енг. *cobots*), који су осмишљени да раде заједно са људима у истом физичком простору, уз висок ниво безбедности и прилагодљивости. Управо ова могућност сарадње човека и машине отвара нове приступе решавању проблема и ширењу роботике у свакодневни живот. Пројекције развоја указују на то да ће, уз напредак нанотехнологије и ВИ, роботски системи постати још присутнији у свакодневним активностима, при чему ће човек задржати улогу надзора и усмеравања [78].

Питања етике у роботики су од посебног значаја, јер је неопходно осигурати да се технолошки напредак користи у корист људи и да не доведе до угрожавања безбедности, достојанства и аутономије човека.

Експертни системи представљају рачунарске програме који су осмишљени да решавају сложене проблеме и подрже процес доношења одлука на основу унапред дефинисаних правила и модела знања, на сличан начин као што би то учинио стручњак из одређене области. Они функционишу као системи за очување и примену експертског знања, омогућавајући његово преношење и коришћење у пракси и у ситуацијама када стручњак није доступан [87].

Експертни систем се најчешће састоји од базе знања, која садржи релевантне информације и правила, и механизма за закључивање, који примењује та правила на конкретне проблеме како би се дошло до решења или препорука. За оптимално функционисање оваквог система, од кључног је значаја да се знање стручњака континуирано ажурира и допуњава у бази знања, чиме се омогућава да систем у пракси даје поуздане и ажурне савете корисницима.



Слика 3.5.6 Демонстрација експертног система у пракси, [79]

У индустрији, експертни системи налазе значајну примену у управљању производним процесима, контроли квалитета, протоколима и роботиком. Посебно су важни у процесима планирања и распоређивања производње, где подржавају доношење одлука у вези са одређивањем величине производних серија, избором алтернативних производних токова и оптимизацијом употребе ресурса [143].

Експертни системи нуде бројне предности, пре свега у доследности и брзини доношења одлука, јер омогућавају примену стручног знања без сталне присутности човека. Они могу да обрађују велике количине података и да препоручују оптимална решења у сложеним ситуацијама, као и да служе као средство за обуку и очување знања у организацијама. Међутим, постоје и одређена ограничења: квалитет и поузданост система у великој мери зависе од тачности и свеобухватности базе знања, а њихова способност адаптације на непредвиђене ситуације је ограничена. Експертни системи такође не поседују способност „разумевања“ контекста ван унапред дефинисаних правила, што значи да се не могу носити са ситуацијама које захтевају интуицију или креативно расуђивање.

1. Процесирање природног језика (*Natural Language Processing – NLP*) представља област ВИ која омогућава рачунарима да разумеју, анализирају и тумаче људски језик. Циљ ове технологије је побољшање интеракције између људи и машина, што се примењује у виртуелним асистентима као што су Siri и Alexa, као и у системима за аутоматско превођење текстова.

NLP омогућава машинама да разумеју и генеришу људски језик, а напредни алгоритми омогућавају интеракцију која је приближна природној комуникацији. Ово

укључује активности као што су аутоматско превођење, сумирање текста, идентификација именованих ентитета, препознавање говора, сегментација тема, претварање говора у текст и обрнуто. Напредак у овим областима доводи до софистициранијих четботова и виртуелних асистената, који могу разумети контекст, анализирати расположење и пружати персонализоване одговоре [121];[99].

Обрада природног језика омогућава и развој конверзацијских робота (*Chatbots*), који су данас широко распрострањени у различитим индустријама, као што су корисничка подршка, е-трговина и здравство [80]. Напредни примери ових система укључују и алате ВИ као што је ChatGPT, који могу да генеришу текст, одговарају на упите и комуницирају са људима на природан начин.

Данас је обрада природног језика једна од кључних тачака развоја ВИ у бројним модерним апликацијама и предузећима, иако већина људи долази у контакт са њом углавном кроз аутоматску корекцију текста и превођење. Велике компаније као што су Google, Amazon и Microsoft активно улажу у ову технологију, што додатно убрзава њену примену и развој [99].

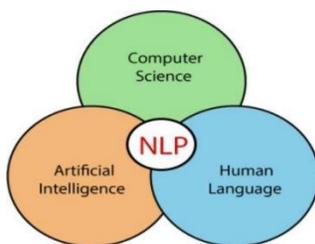
Неки од најважнијих примера примене обраде природног језика укључују [93]:

- **Алати за корекцију граматике** – ови алати користе податке о правилној граматици и алгоритме за идентификацију грешака у тексту, уз могућност предлога за њихово исправљање, што помаже у стварању квалитетнијих и граматички тачних текстова.
- **Сумирање текста коришћењем природног језика** – омогућава кондензацију дугачких текстова у краћи облик, при чему се задржавају основна идеја и суштина садржаја.
- **Препознавање гласа** – процес у коме се људски говор у аналогном облику трансформише у дигитални сигнал који рачунар може обрадити и тумачити, омогућавајући интеракцију путем гласовних наредби.
- **Истраживање тржишта** – компаније користе NLP за анализу јавних порука, друштвених медија, тржишних трендова и вести, како би добиле релевантне информације за оптимизацију пословних стратегија и оствариле конкурентску предност.

Иако обрада природног језика нуди бројне предности, она се суочава и са значајним изазовима. Један од главних проблема је сложеност људског језика, укључујући семантичку

двосмисленост, синониме, идиоме и контекстуалне значења, што отежава прецизно разумевање текста од стране машина. Такође, модели NLP-а захтевају велике количине квалитетних и добро аотираних података за обуку, што може бити скупо и временски захтевно. Поред тога, ови модели су подложни пристрасностима присутним у подацима, што може довести до нетачних или неправедних резултата. Препознавање говора и генерација текста могу бити осетљиви на акценте, дијалекте или неструктурисан говор, а проблеми приватности и безбедности података такође представљају важан аспект примене NLP-а у пракси.

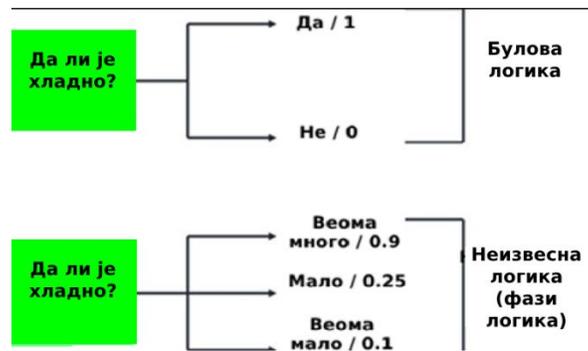
Слика 3.5.7 илуструје преплитање поља ВИ, обраде природног језика (*Human Language*) и рачунарства, која заједно стварају и омогућавају функционисање технологија обраде природног језика (NLP).



Слика 3.5.7 Обрада природног језика, [80]

2. Мека логика (*Fuzzy Logic*) представља метод расуђивања сличан људском, који омогућава доношење одлука у ситуацијама неизвесности и непотпуних информација. За разлику од класичне Булове логике, која познаје само два стања (TRUE/FALSE или 0/1), мека логика прихвата бесконачан број стања између 0 и 1, што омогућава финије и реалније моделовање сложених система, као што је приказано на Слици 3.5.8 [122].

Примена меке логике је веома широка. У области саобраћаја користи се за контролу брзине, у свемирској индустрији за управљање висином летелица, док велике организације ову логику примењују за подршку доношењу одлука и личну процену. У хемијској индустрији, мека логика служи за контролу различитих процеса, омогућавајући прецизнију и ефикаснију регулацију система. Кључна предност меке логике је њена способност да опонаша људско доношење одлука уз значајно већу брзину и конзистентност [122].



Слика 3.5.8 Поређење Буловог и меког логичког, [122]

Поред примена у индустрији и производњи, ВИ игра важну улогу и у сајбер безбедности, где аутоматски детектује и спречава сајбер нападе, као и у развоју напредних система за препознавање лица и образаца у сликовним подацима. Према Parikh (2023), аутономна возила представљају један од значајних трендова у области ВИ: „Аутономна возила су важан сегмент развоја ВИ [107]. Индустрија аутономних возила већ је постигла значајан напредак, а у следећој деценији се очекује њихова широка употреба. Технологије ВИ, као што су компјутерски вид, дубоко учење и интеграција различитих сензора, наставиће да побољшавају безбедност и ефикасност самовозећих аутомобила.”.

3.6. Генеративни ВИ алати

Parikh (2023) истиче: „Остављајући по страни дискусију о разним моралним дилемама повезаним са ВИ алатима као што је ChatGPT, све што могу рећи у овом тренутку је да ће ови алати трансформисати индустрије и револуционирати начин на који живимо и радимо.” [107].

Генеративна ВИ, посебно алати као што је ChatGPT, омогућава прилагођавање образовних искустава индивидуалним потребама, снагама и слабостима сваког ученика. ChatGPT (*Chat Generative Pre-trained Transformer*) је модел ВИ који је развила организација OpenAI и први пут представљен 2020. године. Он користи велику базу података која укључује књиге, веб странице и друге текстуалне ресурсе [20].

Поред ChatGPT-а, постоји низ других генеративних алата који користе ВИ, као што су Google Bard, Bing Chat, Jasper и GitHub Copilot. Google Bard, развијен у фебруару 2023. године, представља ВИ четбот намењен конкурисању ChatGPT-у и способан је за дијалог са

корисницима пружајући ажурне и поуздане информације [114]. Microsoft-ов Bing Chatbot, заснован на GPT-4, комбинује претраживач и четбот и директно приступа интернету, што омогућава пружање информисаних одговора [149]. GitHub Copilot је специјализован за писање програмског кода, предлажући линије кода и целе функције на основу контекста.

ChatGPT се активно користи у образовању, где помаже наставницима и ученицима у припреми материјала, решавању сложених проблема и учењу програмирања [115]. Он је способен да одговори на широк спектар текстуалних упита, укључујући генерисање есеја, сумирање, превођење, исправљање граматике и креирање електронских писама [58]. GPT-3, модел на коме се ChatGPT заснива, користи 175 милијарди параметара и обучен је на обимним скуповима података како би могао да генерише природан и кохерentan текст.

У образовном контексту, ChatGPT омогућава персонализована искуства учења, прилагођавајући садржај академским потребама, стилу учења и темпу сваког ученика. Он може да дели главну тему на подтеме и пише појединачне секције, чиме се омогућава креирање целог чланка или истраживачког рада уз минималан унос података од стране истраживача [154].

Иако ови алати нуде значајне предности, постоје и етички и практични изазови. ChatGPT и слични генеративни алати могу бити злоупотребљени за преписивање домаћих задатака или помоћ у решавању тестова знања [91]. С друге стране, они могу бити корисни у правној професији, образовању и другим областима захваљујући способности да обрађују и анализирају велике количине текста, пружају повратне информације и олакшавају разумевање сложених концепата [48].

Са брзим напретком технологије и глобализацијом међусобне повезаности, ВИ има значајан утицај на многе секторе, укључујући образовање. Улога ChatGPT-а у персонализацији образовања је посебно важна. ВИ алати могу покренути иновације у образовним окружењима на различите начине, омогућавајући прилагођавање садржаја индивидуалним потребама и стилевима учења ученика [129].

ChatGPT је способен да генерише одговоре на основу контекста и учествује у дијалозима који звуче природно. У кратком временском периоду постао је значајна фигура у области ВИ захваљујући способности да производи смислене, систематске и информативне одговоре. Алат може помоћи у креирању есеја, превођењу језика, заказивању процена, постављању и одговарању на питања, као и сумирању текстова. На тај начин, ChatGPT

показује креативност у писању и може генерисати садржај од једног параграфа до целог истраживачког рада [55].

Посебно је користан за подршку ученицима са посебним потребама, јер омогућава прилагођавање садржаја и метода испоруке њиховим индивидуалним потребама, уклањајући препреке за учење и подстичући инклузивно окружење [154]. У високом образовању, ChatGPT пружа студентима тренутна објашњења сложених концепата, помоћ у задацима и приступ великој количини информација. ВИ омогућава учење у било ком тренутку и пружа тренутне повратне информације од виртуелних татора, што доприноси већој флексибилности и самосталности ученика [55].

Наставници такође могу користити ChatGPT за припрему садржаја, као што су лекције, презентације, квизови, процене и писање научних радова. ВИ алати помажу наставницима да боље разумеју потребе ученика, идентификују таленте и потешкоће у учењу, као и да прилагођавају наставне стратегије и курикулум [69].

Међутим, постоје и одређена ограничења у коришћењу ChatGPT-а у образовању. Прва је ограничен приступ пуном функционалу алата, који је често плаћен. Друга се односи на могућност добијања резултата који нису довољно специфични или практично изводљиви, што захтева додатну интервенцију наставника или корисника како би се обезбедила тачност и применљивост садржаја.

Друштвена вредност онлине алата ChatGPT

ChatGPT има и позитивне и негативне аспекте у образовању, али његова употреба пружа бројне могућности искуственог учења. Ученици могу активно учествовати, размишљати о новостеченом знању и повезивати нове идеје са већ постојећим. Са позитивне стране, ChatGPT представља драгоцен алат за развој језичких и писаћих вештина, јер може генерисати текстове, сумирати информације, чиме штеди време и побољшава квалитет рада. У оквиру једне лекције, наставници могу истовремено подучавати граматику, вештине писања и радне вештине. Алат такође омогућава откривање граматичких и стилских грешака и пружа повратне информације ученицима о њиховом писању.

Ученици могу радити индивидуално или у групама, а ChatGPT се користи за креирање појединачних вежби и задатака. Он може прилагодити текстове специфичним захтевима за стил и форматирање, пружајући сугестије и исправке које побољшавају јасноћу

и кохерентност писања. Ово је нарочито значајно за студенте који имају потешкоћа у писању или нису изворни говорници језика [6].

Учењем о алату можемо истражити његове предности и потенцијалне замке. Корисници имају одговорност да користе ChatGPT на сигуран, етички и ефикасан начин. ChatGPT је посебно користан у области индивидуализованог учења, јер омогућава развој истраживачких вештина пружајући релевантне информације и ресурсе о одређеној теми, указујући на нове перспективе и уводећи ученике у неоткривене истраживачке области. Поред тога, алат може генерисати квизове и вежбе, пружати повратне информације и креирати прилагођене наставне планове и програме, као и образовне материјале који се прилагођавају стилу учења и напретку појединачног ученика [6].

ChatGPT омогућава брз и лак приступ информацијама, пружа помоћ у решавању студијских питања и нуди бесплатна додатна објашњења. Он може пронаћи и сажети релевантне информације, што олакшава ученицима организацију времена и планирање учења. Студенти такође имају могућност учења кроз експериментисање и искуство, тестирајући различите стратегије и приступе у решавању проблема и постизању својих циљева.

Трећа област у којој се ChatGPT показује као користан је професионална комуникација. Корисници га могу користити за генерисање е-поште, извештаја и других професионалних докумената [6]. Ипак, иако ChatGPT има велики потенцијал, постоје и његова ограничења. Програм је ефикасан само онолико колико је квалитетан скуп података на којима је обучен, па може да се деси да не разуме одређене типове уноса или да произведе пристрасне, нетачне или бесмислене одговоре. Такође, понекад може генерисати текст који није граматички исправан или кохерентан [6].

Уз правилну употребу, корисници могу искористити пуни потенцијал ChatGPT-а у свом раду, што доводи до квалитетнијих резултата [155]. Међутим, ChatGPT је обучен на основу података до 2021. године, што значи да можда није поуздан у проналажењу најновијих извора, јер новији научни радови нису укључени у његове резултате. Алат понекад може да пружи некохерентне или бесмислене одговоре; на пример, када је затражено 20 референци на тему радиологије, ChatGPT је пет пута пружио исту референцу, као и референце које се нису могле пронаћи у PubMed-у или Google Scholar-у [90]. Поред тога, ВИ може генерисати нетачне или чак неистините информације и развити методе

избегавања детектора плагијата, што доводи у питање аутентичност и јединственост резултата [20].

ChatGPT такође није увек у стању да пружи одговоре на нека релевантна питања, као што је проналажење референци из одређеног научног часописа. На пример, када је питао за референце из часописа *Diagnostic and Interventional Imaging*, ChatGPT се извињавао што није упознат са публикацијама тог часописа. Уместо тога, могао је да предложи претрагу научних чланака који се односе на дијагностику и интервенционално снимање кроз базе података као што су PubMed, Scopus или Web of Science, као и да препоручи неке популарне часописе у тој области.

ChatGPT, који је развила организација OpenAI, пружа бројне могућности искуственог учења, омогућавајући ученицима да активно учествују, размишљају о стеченом знању и повезују нове идеје са већ постојећим знањем [20], [26].

ChatGPT је популаран алат, што понекад може довести до проблема са приступом услузи када више корисника истовремено користи платформу. Такође, ако се постави превише питања у кратком временском периоду, корисник може привремено изгубити приступ систему [90].

Верује се да је учење и развијање писмености у коришћењу ChatGPT-а од кључног значаја за обе индустрије. Писменост у овој области обухвата осам димензија: познавање технологије која стоји иза ChatGPT-а, разумевање економске позадине, способност да се провери и конзистентно тумаче добијене информације, свест о културном контексту, избегавање слепог поверења у алат, ефикасно и рационално коришћење, свест о етичким питањима и одсуство антропоморфног погледа на машину.

3.7. Области примене вештачке интелигенције

Имплементација технолошких решења која представљају примарну вредност у индустрији углавном доноси следеће користи [27]:

- повећану ефикасност,
- дубинску анализу података и
- смањење шансе за људску грешку и побољшане радне токове.

ВИ обухвата различите научне области, укључујући филозофију, психологију, неурознаност, биологију, математику, социологију и информатику. Ова мултидисциплинарност омогућава рачунарима да развију вештине и перцепцију које су некада биле јединствене за људе. Разумевање ВИ превазилази само програмирање или проучавање мозга, јер обухвата сложена истраживања у областима као што су претраживање и расуђивање, представљање знања и обрада несигурности, машинско учење, обрада природног језика, препознавање говора и вида, као и роботика.

Европска комисија (2023) предвиђа да ће ВИ имати највећи економски утицај на следеће секторе [53]:

- Производња и индустријски (ИоТ). Интернет ствари – са укупним потенцијалом за утицај ВИ у Европи до 200 милијарди евра до 2030. године;
- Мобилност – са потенцијалом утицаја ВИ од 300 милијарди евра и
- Паметно здравље – са потенцијалом утицаја ВИ од 105 милијарди евра.

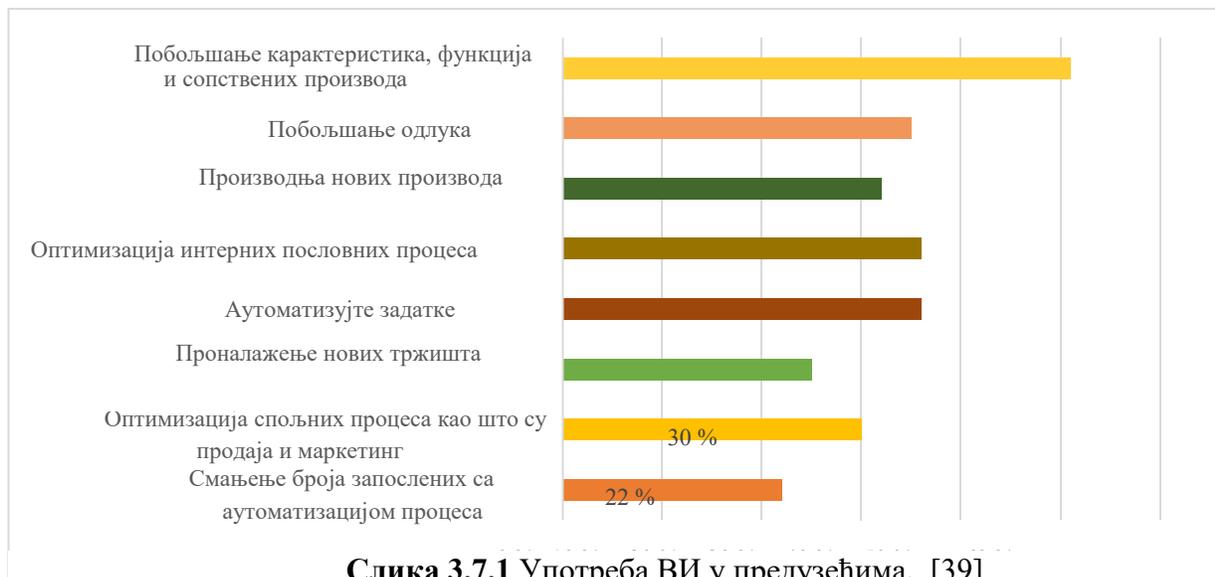
Анализа предвиђања ефеката ВИ и технологија аутоматизације на европско тржиште рада показује значајне утицаје на најмање три начина [50]:

- 1) Замена радне снаге капиталом – вероватно ће довести до истискивања дела радне снаге;
- 2) Улагање у иновације у производе и услуге – може створити нова директна радна места и
- 3) Стварање богатства – може произвести позитивне ефекте преливања на економију.

На поједностављен начин, ВИ системи раде тако што анализирају велике количине означених података, траже корелације и обрасце и предвиђају будућа стања на основу тих образаца. ВИ такође може омогућити веће учешће у глобалним токовима података и трговине и потенцијално створити нова радна места.

У истраживању „Вештачка интелигенција за стварни свет“ (Davenport, 2018), испитано је 250 извршних директора различитих америчких компанија како би се открили њихови циљеви у вези са употребом ВИ [39]. На слици 3.7.1 приказано је да само 22% компанија намерава да смањи број запослених аутоматизацијом процеса. Више од 51% компанија жели да побољша функције, перформансе и производе, 36% компанија планира да оптимизује интерне пословне процесе, а 30% да оптимизује екстерне процесе као што су продаја и маркетинг.

Компаније такође користе ВИ у следеће сврхе: побољшање доношења одлука (35%), развој нових производа (32%), проналажење нових тржишта (25%) и аутоматизацију задатака (36%) [39].



Слика 3.7.1 Употреба ВИ у предузећима, [39]

Употреба напредних технологија попут ВИ данас се простира кроз већину пословних функција, техничка припрема, набавка, производња, продаја и маркетинг, дистрибуција, финансије и ревизија, управљање људским ресурсима, истраживање и развој. Паметне машине и системи ВИ постају све сложенији и моћнији; неки рачунари могу извршити више прорачуна за секунду него што би обична особа успела за милионе година.

У последње време појавиле су се муњевите иновације у области ВИ и њених примена [64]. Оне укључују: паметну здравствену заштиту и развој нових лекова [67], предвиђање природних катастрофа, помоћ при писању вести, сузбијање дезинформација, гласовне контроле системе, е-трговину (дигитални лични асистенти, препоруке у онлајн куповини и оглашавању) и аутономна возила [1].

ВИ стога има широку примену: од медицине, где помаже у дијагностици и предлозима лечења, до финансија, где анализира тржишне трендове и предвиђа кретање цена. Уз алгоритме дубоког учења могуће је анализирати тестове крви, радиолошке слике и медицинску историју пацијената, што је довело до значајних корака у раној дијагнози и лечењу ћелија рака. У здравственој индустрији ВИ омогућава смањење оперативних трошкова, већи промет пацијената и минимизацију људских грешака [127].

У оквиру глобалног истраживања које су 2022. године спровели IBM и Morning Consult о употреби ВИ у организацијама. Истраживања су показала следеће [73]:

- **Глобално усвајање ВИ је у порасту**, при чему око 35% организација већ користи ВИ, док додатних 42% истражује могућности његове интеграције у пословање.
- **Велике организације чешће усвајају ВИ од малих**, што се повезује са већим доступним ресурсима и развијенијом технолошком инфраструктуром.
- **Кина и Индија предњаче у примени ВИ**, где скоро 60% ИТ професионалаца извештава да њихове организације активно користе ВИ, док су проценти у другим земљама знатно нижи: Јужна Кореја 22%, Аустралија 24%, САД 25% и Велика Британија 26%.
- **Највеће присуство ВИ је у индустријама са напредним технолошким захтевима**, као што су финансијске услуге, медији, енергетика, аутомобилска индустрија, нафтна индустрија и ваздухопловство. Насупрот томе, најспорија интеграција је у малопродаји, путовањима, јавном сектору и здравству.
- **Кључ успешне примене ВИ лежи у стратегији управљања подацима**. Највећа препрека усвајању ВИ није цена или технологија, већ недостатак јасних стратегија за податке и развој ВИ решења.
- **Аутоматизација има важну улогу у суочавању са недостатком радне снаге и вештина**. Око 25% организација усваја ВИ управо због ових изазова, док 30% ИТ професионалаца истиче да ВИ алати већ доприносе уштеди времена запослених.
- **ВИ подржава циљеве одрживог развоја**. Више од две трећине организација које користе или планирају да користе ВИ намеравају да га примене у оквиру одрживог пословања, док 20% наводи еколошке притиске као главни покретач усвајања.
- **Најчешћи случајеви употребе ВИ обухватају аутоматизацију, безбедност и ИТ операције**. Преко 30% организација користи ВИ за аутоматизацију кључних процеса, што доводи до боље алокације ресурса и очувања перформанси апликација. Такође, ВИ се све више користи у маркетингу, продаји и сектору подршке купцима.

Системи ВИ све успешније имитирају когнитивно функционисање човековог мозга, чиме пружају значајну подршку здравственим радницима у лечењу пацијената, интерпретацији дијагностичких слика и постављању потенцијалних дијагноза. Иако овакви

технолошки напредци изазивају ентузијазам, истовремено отварају и бројна етичка и друштвена питања, укључујући заштиту приватности, ризик од алгоритамске пристрасности и утицај на тржиште рада. С тога је разумевање ВИ и њених импликација од суштинског значаја за адекватно одговарање на будуће изазове и максимално искоришћавање њеног потенцијала у погледу унапређења квалитета живота.

Примена ВИ у е-трговини препознатљива је у више области [127]:

- **Персонализована куповина** – имплементација различитих алгоритама омогућила је персонализоване препоруке производа, чиме се задржавају купци, повећава продаја и јача лојалност потрошача,
- **Виртуелни асистенти** – системи засновани на обради природног језика доприносе побољшању корисничког искуства пружајући тренутну подршку купцима и
- **Интелигентно управљање залихама** – ВИ омогућава ефикасније планирање ланца снабдевања, оптимизацију инвентара и цена, чиме се смањују трошкови складиштења и унапређује доступност производа.

3.7.1. Примена вештачке интелигенције у предузећима

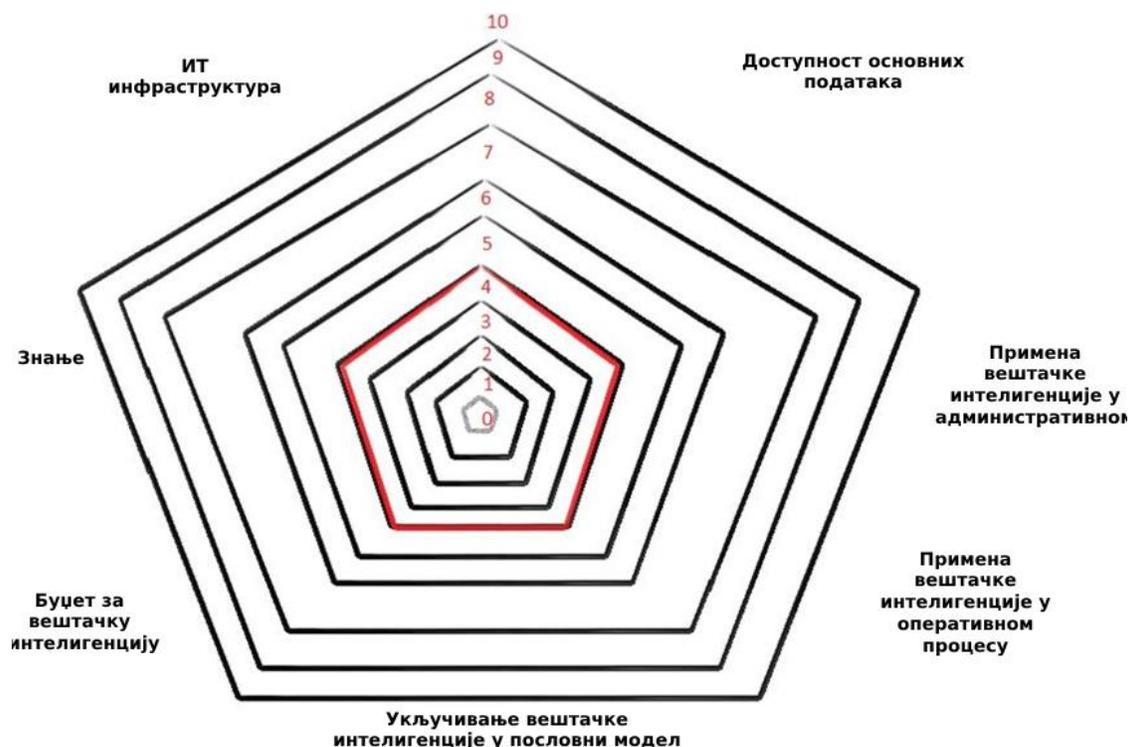
Употреба технологија као што је ВИ у производњи омогућава брже и прецизније доношење одлука у поређењу са искључивим ослањањем на физичку радну снагу. Применом ВИ олакшава се предвиђање и идентификовање аномалија и одступања у процесима.

Менаџмент предузећа настоји да организацију пословања унапреди на начин који побољшава квалитет рада, смањује трошкове, повећава број купаца или гостију и укупно позитивно утиче на запослене и кориснике услуга. Иако ВИ доноси значајне предности, Bertolini и Episkoro (2021) истичу да је њена имплементација и даље релативно ретка и упозоравају да ВИ никада неће бити у потпуности аутономна у процесима планирања и одлучивања [12].

Изузетно је важно да они који одлучују о технолошком развоју компаније имају довољно знања како би одабрали решење ВИ које заиста подржава и унапређује пословање. У супротном, набавка непримерене технологије може довести до већих трошкова него

користи. Због тога је пожељно да одговорно лице поседује одговарајуће компетенције или да ангажује спољне стручњаке који делују као „ментори“ у процесу увођења иновација.

Аутори Valtiner и Reidl (2021) указују на низ изазова који се могу јавити током дигиталне трансформације, а њихово разумевање омогућава бољу припрему за различите сценарије у пракси [146]. У наставку се представљају идентификовани проблеми и могућа решења кроз шест корака.



Слика 3.7.2 КПИ предлози за ВИ радар, [146]

Употребом ВИ, предузећа могу значајно побољшати ефикасност пословних процеса, повећати продуктивност и профитабилност. Међутим, вредност ВИ није искључиво у самој технологији, већ у начину на који се она користи како би подржала људе у доношењу одлука и извршавању задатака. Кључну улогу има транспарентност, предузећа морају корисницима јасно објаснити на који начин системи функционишу, како би се изградио виши ниво поверења.

Према Rapp (2022), основна подручја у којима ВИ у индустријској производњи ствара финансијску корист су [116]:

Предиктивно одржавање – прикупљање података о коришћењу, хабању и условима у раду опреме омогућава благовремено реаговање, што значајно смањује неочекиване застоје у производњи.

Осигурање квалитета – ВИ доприноси смањењу трошкова повезаних са контролом и одржавањем квалитета, чиме се повећава профитабилност.

Смањење отпада и избацивања производа – применом метода мерења и предвиђања могуће је смањити број неисправних производа и побољшати ефикасност производње.

Повећање обима производње – ВИ алгоритми могу да открију уска грла у процесу или да предвиде ситуације у којима производни систем неће испунити задате спецификације.

Предвиђање потражње и управљање залихама – дубља анализа тржишних и интерних података омогућава боље прогнозе потребних количина, што доводи до значајних уштеда у планирању и складиштењу залиха.

3.7.2. Примена вештачке интелигенције у трговини и маркетингу

ВИ значајно утиче на развој трговине и маркетинга, посебно у оквиру е-трговине, пружајући бројне конкурентске предности. Иако је реч о технологији која се интензивно развија, многе компаније још увек не користе у потпуности све њене могућности услед недовољног разумевања њеног функционисања. ВИ трансформише кључне пословне сегменте као што су откривање превара, управљање залихама, односи са клијентима и аутоматизација пословних процеса.

Како се ВИ даље развија, очекује се да ће још снажније обликовати будућност е-трговине. Њен највећи допринос огледа се у унапређењу корисничког искуства, персонализацијом услуга, поновним циљањем купаца (*retargeting*), динамичким одређивањем цена, креирањем оптималних маркетиншких стратегија и ефикаснијим управљањем подацима. ВИ омогућава дубину аналитичког увида која производи прецизне предикције понашања купаца и пословних трендова.

Трговци су, по природи своје делатности, усмерени на иновације и праћење трендова, па растућа примена ВИ не делује изненађујуће. Ипак, њен опипљив утицај на готово сваки аспект пословања и даље делује импресивно [126]. Савремене апликације засноване на ВИ

знатно поједностављују маркетиншке активности. На пример, алати као што је ChatGPT користе се за генерисање садржаја на друштвеним мрежама, блог текстова, продајних материјала и видео скрипти, док алати за уређивање, попут Grammarly-ја, користе ВИ за побољшање језичког квалитета произведених материјала [126].

Поред тога, графички дизајн значајно је унапређен захваљујући алатима заснованим на ВИ, као што су Canva и нови Microsoft Designer, који омогућавају брзо и једноставно креирање визуелно атрактивних материјала [126].

Употреба ВИ у маркетингу наставља да се интензивно развија. Иако многи нови алати, попут генеративне ВИ и посебно ChatGPT-а, још увек нису у широкој примени, очекује се да ће ВИ ускоро постати доминантан приступ у маркетиншкој индустрији, потискујући традиционалне методе [47]. Према анализама компаније McKinsey, предвиђа се да ће чак 90% руководилаца у сектору продаје и оглашавања активно користити генеративна ВИ решења у наредне две године.

На графикону испод приказан је очекивани тренд раста вредности ВИ у маркетингу у периоду од 2020. до 2028. године [47].



Слика 3.7.3 КПИ предлози за ВИ радар, [47]

3.7.3. Примена вештачке интелигенције у образовању

У високом образовању, ВИ апликације се најчешће примењују у предиктивном моделирању, интелигентној аналитици, технолошки подржаном учењу, као и у аутоматској анализи слика и дигиталног садржаја. Укључивање ВИ у образовни процес не представља само технолошки напредак, већ и дубоку трансформацију целокупног образовног искуства

[154]. ВИ у образовању представља интердисциплинарно подручје у којем стручњаци из различитих дисциплина анализирају начине на које ове технологије могу унапредити наставу и учење. Потенцијал ВИ огледа се у побољшању планирања учења, аутоматизацији процене знања и индивидуализацији наставних ресурса за сваког ученика. У протеклој деценији, расте интересовање за примену ВИ у високом образовању, нарочито кроз развој интелигентних турских система и адаптивних платформи за учење [35].

Google програмер Kenneth Goodman тестирао је могућности модела ChatGPT на више стандардизованих испита. Резултати су показали да је модел постигао око 70% на испиту за лиценцу за медицинску праксу у САД-у, приближно 70% на правосудном испиту и 78% на тесту из хемије са вишеструким избором у средњим школама у Њујорку. Насупрот томе, на пријемном испиту за правни факултет (LSAT) забележено је око 40% успешности [125].

Развој ВИ омогућио је значајна побољшања у бројним академским областима, посебно у образовању. Интердисциплинарно поље под називом „ВИ у образовању“ фокусира се на примену ВИ у подршци наставницима приликом дизајнирања лекција, промовисања учења ученика и трансформације образовних система. ВИ може побољшати педагошки дизајн и развој, омогућавајући аутоматизацију процена учинка ученика и праћење њиховог напретка. Увођењем ВИ у образовање трансформише се сам образовни систем кроз интеграцију технологије, обогаћивање начина пружања знања и промену односа између наставника и ученика. Посебан значај ВИ има у областима науке, технологије, инжењерства и математике (STEM), где помаже у прилагођавању окружења за учење и прецизнијој процени достигнућа ученика. Dustin York, ванредни професор комуникација на Универзитету Maryville, истиче да едукатори треба да науче како да користе ChatGPT као алат који може подстаћи критичко размишљање ученика [125].

3.7.4. Примена вештачке интелигенције у туризму

Примена ВИ у туризму све више трансформише начин на који туристичке услуге и искуства се нуде и конзумирају. ВИ омогућава аутоматизацију различитих процеса, од планирања путовања и резервација, до персонализованих препорука за активности, смештај и ресторани. Кроз интеграцију интелигентних система и алгоритама, туристичке компаније могу креирати прилагођена и интерактивна искуства за своје клијенте, чиме повећавају

задовољство и лојалност корисника. Као што показује Tussyadiah (2020), употреба аутоматизације у туризму има потенцијал да револуционише традиционалне моделе услуга, омогућавајући бржу и ефикаснију интеракцију са туристима и стварање нових вредности у индустрији [144].



Слика 3.7.4 Коришћење аутоматизације за стварање туристичких искустава, [144]

3.7.5. Примена вештачке интелигенције у рачуноводству и ревизији

Централни део информационог система сваке организације или компаније је рачуноводствени информациони систем, односно рачуноводство. Приметно је да се занимања разликују по степену у којем се могу заменити или допунити употребом ВИ [54]. Паралелно са горе наведеним интеграцијама, велики део примене ВИ алгоритама у финансијском сектору углавном се односи на трговину, где организације користе машинско учење за доношење одлука на основу података о прошлим инвестицијама, вредностима и тржишним условима. Са успешним разумевањем тржишта могу се правити интелигентније и мање ризичне инвестиције са већим степеном поузданости. Професије рачуновође и

ревизора су области у којима ВИ помаже у идентификацији образаца и изради прогноза из великих количина података, на које се рачуновође и ревизори у великој мери ослањају. На основу наведеног може се закључити да су рачуноводствене и ревизорске професије веома подложне имплементацији нових технологија као што је ВИ [54].

У доба ВИ, традиционално рачуноводство пролази кроз трансформацију, јер ВИ преузима рутинске послове, док рачуновође могу да се фокусирају на сложеније задатке. Ово доводи до повећања ефикасности рада, смањења грешака и расте продуктивности компаније. Историја примене ВИ у рачуноводственој индустрији сеже најмање 25 година, посебно у областима финансијског извештавања и ревизије [10].

Поједини аутори сматрају да су основни задаци савременог управљачког рачуноводства припрема финансијских извештаја, прерачунавање интерних трошкова, контролисање пословног успеха компаније и олакшавање стратешког управљања трошковима ради постизања дугорочних и стратешких циљева [158]. Да би испунили ове задатке, менаџерске рачуновође морају обрађивати различите податке, како споља, тако и изнутра компаније.

ВИ у управљачком рачуноводству већ се користи за извођење сложених анализа финансијских извештаја, откривање превара уз подршку интерног контролинга, као и за предвиђање, припрему и исправку различитих финансијских извештаја [148]. На тај начин омогућава рачуновођама да се фокусирају на активности са већом додатом вредношћу, као што су анализа, доношење одлука, решавање проблема и развој стратегије. Усвајање технологије ВИ пружа прилику за смањење рутинског рада и обраде података, обезбеђујући време потребно за проверу тачности добијених информација. Ово доприноси значајној конкурентској предности кроз побољшање квалитета доношења одлука [142].

Највеће критичне препреке које ометају усвајање технологије ВИ у управљачком рачуноводству су отпорност на промене, недостатак поверења, организациона култура и високи трошкови технологије. Невољност рачуновођа да примене ВИ произилази из уверења да ће усвајање нове технологије угрозити њихову професију или послове [148].

Иако се не очекује да ће ВИ у потпуности заменити људску стручност, она ће имати значајан утицај на будућност рада за професионалце у више области, укључујући рачуноводство, ревизију и пословне финансије. Према Извештају о будућности послова Светског економског форума (2023), постоји претња за нискоквалификоване послове у овим

областима услед усвајања напредних технологија као што је ВИ [157]. Међутим, потенцијал за стварање нових каријера имплементацијом ових технологија у рачуноводству не сме се потцењивати [51].

Такође, познати аутори Fedyk и сарадници (2022) представљају резултате који илуструју шест чињеница о употреби ВИ у области ревизије [54]:

- 1) Технологија заснована на ВИ се широко користи у ревизији.
- 2) Усвајање ВИ у ревизорским фирмама је централизовано и одвија се одозго према доле у хијерархији.
- 3) Фокус је на побољшању квалитета ревизије, што се постиже ефикаснијим откривањем превара и неправилности, проценом ризика и могућношћу преусмеравања људског рада на области високог ризика.
- 4) Улагања ревизорских кућа у ВИ су од суштинског значаја за квалитет ревизије.
- 5) Усвајање ВИ указује на промене у потражњи и саставу рада, јер основни рутински задаци, као што је преглед финансијских извештаја, више неће захтевати људски рад, будући да ће бити аутоматизовани.
- 6) Главна препрека за усвајање ове технологије је обука и увођење квалификованог људског капитала.

Већина рачуноводствених процеса и система пребачена је у компјутерске форме захваљујући развоју рачунара и напредним технологијама, посебно у областима вођења папирних евиденција, часописа и књиговодства. Стога се може тврдити да су еволуција рачуноводственог софтвера и континуирани развој ВИ у великој мери допринели трансформацији рачуноводствених система [10].

ВИ се интензивно користи у управљању инвестицијама, алгоритамском трговању, откривању превара, осигуравању и управљању кредитима. Њена употреба такође омогућава идентификацију илегалних трансакција кроз контролу и анализу огромних количина података [10]. Када је реч о улагању у акције на финансијском тржишту, јавност жели да разуме основна правила која се могу користити за анализу и предвиђање. Инвестициони професионалци широм света примењују различите методе за анализу података како би извукли максималну могућу добит [10].

Рачуноводствена професија је једна од области која је отворена за иновације у информационим технологијама, али највећи потенцијал рачуноводствених техника може се у

потпуности остварити само кроз имплементацију решења заснованих на ВИ. Рачуноводствена активност ће се тако значајно променити, што може представљати изазов, али с друге стране отвара и нове могућности [148].

На основу чланка „Дигитални дарвинизам“, који је објавило Удружење овлашћених рачуновођа (Association of Chartered Certified Accountants - ACCA) и Институт за менаџмент рачуноводство (Institute of Management Accounting - IMA), Vărzaru (2022) наводи технолошке трендове који утичу и који ће утицати на управљачко рачуноводство: мобилне технологије, дигитална плаћања и системи са два уређаја, виртуелна и проширена стварност, ВИ, рачунарство у облаку, велики подаци и убрзање аутоматизације [148].

Предност коришћења напредних технологија, као што је облачно рачунарство, у рачуноводству огледа се у поједностављењу рачуноводствених докумената, њиховој тренутној доступности корисницима и смањењу оперативних трошкова [148]. Комбинација ових технологија са машинским учењем омогућава генерисање релевантнијих и поузданијих рачуноводствених информација, аутоматизацију менаџерских процеса, брзу повратну информацију и побољшање ефикасности рада у управљачком рачуноводству.

ВИ решења омогућавају спровођење сложене анализе финансијских извештаја, откривање превара и предвиђање будућих финансијских трендова [148]. Задаци као што су припрема и завршетак рачуноводствених евиденција, анализа података и подршка одлучивању, које ВИ може обављати, јачају интерне контроле и повећавају могућност истраживања сложених података у реалном времену. ВИ се такође примењује у аутоматизацији прикупљања података, управљању трошковима и буџетом, управљању резултатима и финансијском извештавању [148].

Могућности које нуде напредне технологије, као што су ВИ и анализа великих података, пружају бројне користи у анализи и представљању информација за доношење одлука, процени усклађености и ослобађању рачуноводствених професионалаца од рутинских задатака, омогућавајући им да се фокусирају на активности са већом додатом вредношћу [148].

Међутим, уз све предности које доноси интеграција ВИ у управљачко рачуноводство, овај процес носи и одређене недостатке [148]. Први је аутоматизација, која повећава брзину прикупљања, обраде и интерпретације података, али у одсуству људског фактора може довести до смањења квалитета интерних контрола. Управо због тога рачуновође често

страхују да ће ВИ заменити људски фактор у управљачком рачуноводству, што наглашава потребу за упознавањем са савременим информационим технологијама.

Још један изазов је ширење процеса доношења одлука услед обраде великог спектра података, као и изузетно високи трошкови ИТ инфраструктуре, вештина и решења ВИ која су потребна за ажурирање и одржавање софтвера [148]. Сопан и сарадници (2022) истичу и специфичне недостатке рачуноводства у облаку, као што су потреба за стабилном интернет конекцијом, недостатак јасног регулаторног оквира, питања приватности података и обезбеђења безбедности информација, што захтева примену три нивоа безбедности: мрежне, серверске и апликацијске.

Употреба ВИ такође проширује оквир за усавршавање тврдих вештина и професионалног расуђивања које рачуновође морају савладати, али истовремено повећава ризик од цурења података конкурентима [148]. Многи научници и стручњаци наглашавају да ВИ не може заменити људске компетенције у стручном расуђивању и доношењу одлука на основу интуиције у наредних десет година или више. Они такође упозоравају да укључивање ВИ у све области рачуноводства смањује потребу за радном снагом, повећава ризик од незапослености и отвара бројна етичка питања, укључујући потенцијалну пристрасност у алгоритмима [148].

У будућности ће утицај ВИ на рачуноводствене и финансијске професије наставити да расте, због чега је најбоља стратегија за професионалце у овим областима да се прилагоде и прихвате промене које доноси све шира примена ВИ [51]. Истраживања показују да ће се финансијска функција у компанијама трансформисати, преусмеравајући фокус са традиционалног рачуноводства и извештавања ка стварању вредности и подршци доношењу одлука, са нагласком на генерисање пословних увида [51].

Да би се постигли дугорочни циљеви профита и побољшале перформансе, људи и машине морају да раде заједно кроз концепт такозване „колаборативне интелигенције“ [51]. За успешну имплементацију овог приступа, сви чланови рачуноводствених и финансијских тимова, као и други релевантни учесници, морају развити нове вештине и знања у областима технологије, аналитике података, критичког и креативног размишљања, као и тимске сарадње [51]. Према томе, очекује се да ће рачуноводствени професионалци у будућности морати да поседују специјализована знања из ИТ-а.

3.7.6. Примена вештачке интелигенције у управљању пројектима

Управљање пројектима и ВИ су тесно повезани у савременом пословном окружењу, јер ВИ револуционише начин на који се пројекти планирају, реализују и прате. Алати за управљање пројектима представљају софтверска решења која играју кључну улогу у успешном спровођењу пројеката у савременим организацијама. ВИ пружа напредне аналитичке способности које омогућавају менаџерима пројеката да добију увиде из података чија би обрада иначе била превише комплексна или временски захтевна.

Најчешће коришћени алати укључују веб, десктоп и мобилне апликације. Веб алати за управљање пројектима доступни су преко веб прегледача, што омогућава корисницима приступ информацијама о пројекту са различитих уређаја, укључујући паметне телефоне и таблете. Ова врста алата нуди већу флексибилност и једноставну доступност, јер корисници могу пратити напредак пројеката било када и било где. Десктоп алати се инсталирају на рачунар и обично су намењени једном кориснику, као што је менаџер пројекта или стручњак за одређено подручје. Они омогућавају детаљно планирање и праћење пројеката са опсежним функционалностима, али су ограничени на одређени рачунар.

Мобилни алати за управљање пројектима омогућавају корисницима да прате пројекте, ажурирају задатке и комуницирају са члановима тима директно са паметних телефона или таблета. Ово је посебно корисно за праћење пројеката у покрету и брзо реаговање на промене.

Алати за управљање пројектима морају омогућити прецизно одређивање и праћење кључних елемената пројекта. Уз подршку ВИ, менаџери пројеката могу прецизније предвидети потенцијалне проблеме или ризике, оптимизовати расподелу ресурса и благовремено прилагођавати стратегије на основу анализе стварних података.

Разлози за примену ВИ у управљању пројектима су [37]:

- **Побољшање процеса доношења одлука у пројектима** – ВИ не нуди увек “прави” одговор на проблем, али када се ефикасно користи, може значајно побољшати доношење одлука у пројектима, што представља један од најважнијих аспеката њене примене.
- **Подршка у решавању проблема** – Кључна предност ВИ је подршка функцијама решавања проблема, посебно анализом великих скупова података и идентификовањем

могућих решења како се проблеми појављују. Прогностички алгоритми ВИ помажу у бољем управљању ресурсима.

- **Побољшана ефикасност у анализи великих количина података** – Људске когнитивне способности имају ограничења, па је обрада великих и разноликих скупова података сложена. ВИ представља важан алат за брзу и прецизну анализу ових података.
- **Повећање успеха пројекта и смањење ризика од неуспеха** – ВИ доприноси већој вероватноћи успешног завршетка пројекта кроз побољшано доношење одлука, решавање проблема, планирање и анализу података, што смањује ризик од неуспеха.

У наставку је приказана Табела 3.7.6.1, која садржи преглед неких популарних веб алата за управљање пројектима, укључујући њихове методологије, главне функције, као и информације о томе да ли алати подржавају ВИ и на који начин.

Табела 3.7.1 Популарни онлине алати и њихова подршка у складу са специфичним функционалностима, [37]

Алатка	Методологија	Главне функционалности	ВИ подршка
Asana	Agilne, slap	Управљање задацима, рокови, сарадња у реалном времену	Да: ВИ аутоматски додељује задатке и предвиђа рокове
Trello	Kanban, scrum	Визуелне табеле, кретање задатака, интеграције, подсетници	Не: Традиционални алат без ВИ-а, омогућава интеграције са спољним ВИ алатима
Jira	Agilne, scrum, kanban	Праћење напретка, Извештавање, Планирање убрзаног напретка	Да: ВИ за анализу података, предвиђање проблема, Аутоматизација
Monday.com	Agilne, slap, kanban	Визуелне табеле, Извештавање Аутоматизација	Да: ВИ за аутоматизацију задатака, анализу података, Предвиђање ризика
ClickUp	Agilne, kanban, slap	Менаџер задатака, Временски трагови Извештавање, интеграције	Да: ВИ за аутоматизацију задатака, интелигентно додељивање и анализу напретка

Предвиђање да ће ВИ преузети 80% задатака пројектних менаџера до 2030. године изазвало је забринутост да би могла у потпуности заменити људске менаџере. Међутим, истраживач ВИ Paul Bourdreau објашњава да је овакво тумачење погрешно. Према његовом мишљењу, ВИ не замењује руководиоце пројеката, већ побољшава и поједностављује њихов рад. Да би организације остале конкурентне, биће потребно прилагодити процесе и интегрисати употребу ВИ у управљање пројектима. Прилагођавање процеса и пракси

управљања пројектима постаће кључно, јер ће постојеће окружење морати да се прилагоди захтевима и могућностима ВИ технологије. Упркос потенцијалним изазовима, правилна имплементација ВИ у управљању пројектима и даље може донети значајне користи, уз обавезно предузимање мера за управљање ризицима и недостацима.

3.7.7. Примена вештачке интелигенције у пословном одлучивању

ВИ користи рачунаре и машине како би опонашала способност људског ума да решава проблеме и доноси одлуке. Сврха овог рада је да анализира постојећу литературу и друге изворе како би се утврдило у којој фази развоја ВИ се налазимо, који алати и методе се користе и какве могућности пружа ова технологија. Конкретније, фокус је на употреби ВИ у доношењу пословних одлука, с обзиром на то да многе грешке у компанијама произилазе из недостатка информација или људских пропуста. ВИ има предност што може да обради огромне количине података и делује објективно, без личних интереса.

Циљ је пружити јасну и концизну слику о ВИ, укључујући њене дефиниције, области примене, могуће замке и циљеве, као и објашњење процеса пословног одлучивања. Такође ће бити представљени историјски примери добрих и лоших пословних одлука које доносиоци одлука, као и ВИ, требају имати на уму. У тексту ће бити размотрено и појам пословне интелигенције (ПИ), њена примена и значај, као и начин на који ВИ надограђује ПИ како би компанијама пружила додатне погодности у идентификацији прилика и претњи.

Истражићу где се ВИ већ користи и које користи доноси у процесу доношења пословних одлука. Поред предности, биће размотрени и недостаци, уз примењену SWOT анализу која обухвата снаге, слабости, могућности и претње коришћења савремене технологије ВИ. Током завршног дела рада, резимираћу предности ВИ за побољшање пословних одлука, као и потенцијалне недостатке и ризике. Као што је индустријска револуција донела нове могућности, али и изазове, и употреба ВИ захтева прилагођавање слабостима система и рано откривање прилика и претњи.

Предности коришћења ВИ за подршку у доношењу пословних одлука огледају се у способности система да обрађује квантитативне и квалитативне податке, омогућавајући доносиоцима одлука брже откривање прилика и претњи. Одлуке се заснивају на бољим информацијама, с мање људских грешака, а у маркетингу и другим областима ризик од

пропушта се смањује јер ВИ систем може заменити део рутинског рада. Систем такође нуди алтернативне опције и сценарије које доносиоци одлука можда нису разматрали, пружајући додатне могућности за избор. Аутоматско учење и стално ажурирање система омогућавају да он временом стиче нова знања и искуства, прикупљајући податке и информације како изнутра тако и изван компаније и представљајући их у реалном времену. Прилагођени алати омогућавају прецизније предвиђање потражње и других кључних показатеља у кратком временском року.

Недостаци коришћења ВИ за потребе доношења пословних одлука огледају се у високим трошковима развоја или изнајмљивања система. Пошто системи још нису потпуно једноставни за употребу, потребни су високо квалификовани стручњаци из различитих области, што доводи до зависности компаније од спољних извођача. Поред тога, појавом система на тржишту јавља се велика потреба за обученим особљем за рад са ВИ алатима. Када се систем имплементира и има приступ интернету, он може самостално праћити коментаре купаца о производима или услугама и обављати анализе, што може смањити директан контакт компаније са клијентима и повећати ослањање на податке добијене од програма. Још један потенцијални недостатак је то што конкурентске компаније могу користити исте ВИ системе, па ће успех зависити од способности менаџера да их ефикасно користе.

Могућности оваквог система ограничене су једино ограничењима која његови креатори поставе. Компанија која га поседује може открити нове маркетиншке канале, развијати нове методе пословања, креирати непознате производе или услуге и унапредити технолошки развој. Главни доносилац одлука или менаџер може користити ВИ систем као личног асистента, подршку одељењима за развој производа, маркетинг, рачуноводство и другим нивоима управљања, доступног директно са тастатуре или паметног телефона. Систем може радити аутоматски, пратити тржиште и самостално доносити одређене одлуке (аутономна интелигенција). На пример, може аутоматски купити сировине по најповољнијој цени током месеца, анализирајући прошле цене и предвиђајући најбољи тренутак за куповину. Поред свега наведеног, повећаће се потреба и запошљивост програмера и оператера оваквих система.

Претње које произилазе из употребе ВИ проистичу из предаје одлука у „руке” система. Систем може запошљавати и отпуштати људе, доносити стратешке одлуке и

прилагођавати процесе у корист компаније, али не сноси одговорност за последице. Постоји ризик од злоупотребе система, када одговорна особа може користити ВИ на неприкладан начин ради личне добити, укључујући методе манипулације. ВИ је такође рањив на хакерске нападе због своје повезаности са Интернетом, па је на креаторима система да успоставе адекватне безбедносне мере, а на владама да регулишу и спрече његову илегалну употребу. Због својих могућности, систем може заменити већину људског особља на оперативном и стратешком нивоу, што потенцијално повећава незапосленост.

3.7.8. Примена вештачке интелигенције у оптимизацији

Оптимизација пословних процеса представља кључни фактор за повећање ефикасности, смањење трошкова и побољшање квалитета производа или услуга у компанијама. У том контексту, примена ВИ омогућава анализу великих количина података, предвиђање могућих сценарија и доношење бржих и прецизнијих одлука. Комбинација ВИ и аутоматизације не само да убрзава процесе, већ омогућава и проналажење најоптималнијих решења за сложене пословне изазове, чиме компаније добијају конкурентску предност на тржишту.

Имплементација технологија попут ВИ и аутоматизације у компанији захтева одређено време и финансијска улагања, али када се заврши, свакодневно представља организацијама значајне конкурентске предности. Пројекти аутоматизације са ВИ обично се одвијају постепено, јер се перформансе побољшавају прикупљањем података и подешавањем параметара који постепено оптимизују пословне процесе. Када говоримо о вези између аутоматизације и ВИ, често се користи термин „интелигентна аутоматизација“, која представља део ширег пословно оријентисаног приступа познатог као хипераутоматизација [96].

Роботска аутоматизација процеса

Роботска аутоматизација процеса (RPA) је грана аутоматизације пословних процеса која се често погрешно повезује са физичким роботима, што није тачно. У ствари, RPA представља технологију у којој софтверски работи хватају и тумаче апликације задужене за трансакције, манипулацију подацима и интеракцију са другим системима. Роботска аутоматизација примењује се првенствено на једноставне, понављајуће задатке, као што су

аутоматско одговарање на е-пошту, коришћење интернет ботова, копирање података или олакшавање рада запослених тако што преузима обављање рутинских активности [17].

Роботска технологија аутоматизације процеса данас може ефикасно обрађивати бројне пословне процесе у организацијама, истовремено омогућавајући компанијама брзу имплементацију других технологија, као што су алгоритми ВИ. Интеграција ВИ алгоритама проширује функционалност роботске аутоматизације на потпуно нове нивое: док традиционални работи прате строго дефинисане процесе, ВИ работи користе алгоритме машинског и дубоког учења за учење и препознавање образаца. Комбинација ових технологија ствара интелигентније и опсежније аутоматизације процеса, отварајући могућност за аутоматизацију чак и најсложенијих пословних интеграција.

Имплементација роботске аутоматизације процеса доноси широк спектар предности [72]:

Мање кодирања – За имплементацију технологије није потребан сложен софтвер или дубока интеграција система. Често функције ове технологије могу бити обезбеђене од стране не-техничког особља, што не представља додатне трошкове.

Смањење трошкова – Аутоматизација одређених пословних процеса омогућава растерећење особља и бољу расподелу задатака, што повећава продуктивност у организацији.

Задовољство купаца. Четботови и други аутоматизовани алати доступни су купцима 24 часа дневно. Брза помоћ и ефикасност смањују време чекања и повећавају задовољство корисника.

Побољшање морала запослених – Роботизација доприноси бољој динамици рада у организацији. Делегирањем понављајућих задатака, запослени се ослобађају рутинских активности и могу се фокусирати на стратешке и креативне задатке, што позитивно утиче на мотивацију и задовољство на раду.

Већи степен прецизности – Имплементација ове технологије поставља нове стандарде, посебно у процесима који захтевају висок степен прецизности и поштовање правила, где је људска грешка честа. Сви радни поступци евидентирају се у бази података, што омогућава праћење пословних процеса и превентивно решавање могућих грешака.

Док роботска аутоматизација процеса има бројне предности, она такође доноси одређене ризике за економију. Ови ризици се углавном односе на претњу по знање и вештине радника, као и на изазове скалирања пословних процеса. Проблем угрожавања

знања запослених може се ублажити промовисањем културе учења и иновација, која подстиче развој креативних и стратешких решења за сложене задатке. За решавање изазова скалирања потребна су технолошка решења која омогућавају ефикасније коришћење робота у организационим процесима [17].

Интелигентна аутоматизација

Интелигентна аутоматизација се сматра најсложенијом граном аутоматизације, јер у себи интегрише два кључна аспекта – размишљање и деловање. Она комбинује три основне компоненте које заједно омогућавају потпуну дигитализацију пословања предузећа [64]:

- вештачка интелигенција,
- управљање пословним процесима и
- роботска аутоматизација пословних процеса.

Технологија се првенствено ослања на аутоматизовано прикупљање података уз помоћ алгоритама ВИ, који их обрађују и интегришу у пословне процесе. Интеграција ове технологије представља трансформативно решење које поједностављује ток посла и истовремено побољшава корисничко искуство [67].

Предности интелигентне аутоматизације огледају се у следећим областима (IBM, 2021c):

Смањење трошкова – У организацијама које имплементирају интелигентну аутоматизацију за дуготрајне и радно интензивне задатке, долази до значајног смањења трошкова. Поред тога, аутоматизација пословних процеса повећава временску ефикасност и продуктивност организације.

Смањење грешака у процесу рада – Људска радна снага често прави грешке у пословним процесима. Интелигентна аутоматизација преузима понављајуће задатке, што значајно повећава ниво прецизности и смањује ризик од потенцијалних грешака и уских грла.

Боље корисничко искуство – Брже и поузданије испоруке производа на тржишту побољшавају корисничко искуство. Поред тога, интелигентна аутоматизација омогућава инстант повратне информације и сталну подршку потрошачима.

Оперативна конзистентност – Омогућава организацијама да доследно послују у складу са регулаторним политикама и прописима, као што је, на пример, Општа уредба о заштити података (GDPR).

Упркос бројним предностима, о интелигентној аутоматизацији и даље постоје одређене заблуде. Најчешћа је тврдња да она замењује физички рад, што није у потпуности тачно. У ствари, интелигентна аутоматизација преузима понављајуће задатке, што омогућава људској радној снази да се концентрише на промишљеније и иновативније пословне процесе [76].

Примена интелигентне аутоматизације присутна је у различитим индустријама. У аутомобилској индустрији она представља конкурентску предност омогућавајући ефикасније предвиђање и прилагођавање производње према потражњи. У индустрији осигурања, интелигентна аутоматизација поједностављује припрему документације о потраживањима и процену ризика, што омогућава прецизнији обрачун и одређивање одговарајуће стопе осигурања. У здравству, коришћење обраде природног језика омогућава доследан приступ прикупљању података, анализи и подршци у дијагнози [139].

Хипераутоматизација

Термин хипераутоматизација обухвата концепт интелигентне аутоматизације и проширује га на свеобухватну аутоматизацију организације. Основна сврха хипераутоматизације је поједностављење и оптимизација свих пословних процеса кроз примену више технологија, с минималном или без људске интервенције. Слично интелигентној аутоматизацији, хипераутоматизација комбинује роботску аутоматизацију процеса и управљање пословним процесима, али интегрише и напредне алгоритме ВИ. Ови алгоритми укључују обраду природног језика, оптичко препознавање знакова и интелигентну обраду докумената, што омогућава поузданију и квалитетнију аутоматизацију. Трансформација организације кроз хипераутоматизацију води ка ефикаснијем коришћењу ресурса и често пружа значајну конкурентску предност [95].

Тренд имплементације хипераутоматизације у структуру компаније доноси потенцијалну профитабилност, али истовремено поставља одређене изазове. Главне предности примене хипераутоматизације обухватају [74]:

- ефикаснију имплементацију бројних пословних процеса;
- оптимизацију тока послова;
- смањење трошкова кроз примену дигиталних технологија;
- значајно повећање агилности компанија и

- производњу квалитетнијих и конзистентних производа са мањим уделом људске грешке.

Сваки нови приступ пословним процесима у организацији носи одређене изазове који се морају превазићи пре потпуне интеграције технологије. Главни изазови имплементације хипераутоматизације односе се на [11]:

- недостатак техничког знања или адекватних ресурса за решавање проблема узрокованих лошим или непотпуним подацима,
- стратешку интеграцију технологије како би се обезбедила максимална вредност и
- неопходност анализа, оптимизација и имплементација промена у аутоматизацији ради постизања најефикаснијег рада.

Хипераутоматизација се може применити у било којој индустрији, углавном због широког спектра побољшања које нуди. Организација која жели да интегрише хипераутоматизацију мора прво идентификовати неефикасне процесе и потребу за побољшањем квалитета како би повећала свој тржишни удео. Имплементација хипераутоматизације мора бити стратешки планирана због ширине и дубине неопходних промена у организационом систему. Производне компаније представљају идеалан пример за примену ове технологије у различитим областима организације. Рационализација пословања у оквиру платног списка, интеракција са клијентима и управљање инвентаром представљају основне функције које се могу аутоматизовати. Следећа фаза подразумева роботску аутоматизацију, посебно у контексту производње и ланца снабдевања, која се комбинује са ВИ у оквиру интелигентне аутоматизације. Коришћење свих ових технологија и алгоритама у великој мери утиче на квалитет производње и време извршења пословних процеса. Генерално, интеграција хипераутоматизације у пословно окружење има за циљ свеобухватну дигитализацију организације, што позитивно утиче на будуће пословне перформансе [75].

Студија случаја: Примена интелигентне аутоматизације у GENERALI д.д.

Након разматрања теоријских аспеката аутоматизације процеса уз примену интелигенције, као практичан пример представљам компанију **GENERALI** д.д.. **GENERALI** је италијанско акционарско друштво у индустрији осигурања, које је у Словенији присутно као **GENERALI** д.д., са више повезаних друштава. Данас представља једну од највећих међународних осигуравајућих компанија на свету [61].

GENERALI д.д. је рано препознао предности интелигентне аутоматизације као модерног приступа пословним процесима, који радикално побољшава корисничко искуство. Комбинација технологија омогућава ефикасну аутоматизацију кључних процеса, што смањује оперативне трошкове. Генералијева трансформација заснована је на новој стратегији пословања, где се фокус са производа помера на купце током њиховог животног циклуса [61].

Фокус на запослене, који су били изложени дугим и понављајућим пословним процесима, довео је до одлуке о аутоматизацији. Ова стратегија омогућава да се физичка радна снага усмери на стратешке активности и задатке са већом додатом вредношћу. Поред унапређења интерних процеса, интелигентна аутоматизација игра важну улогу и у раду са клијентима, као и у повезивању са агентима и дистрибутерима.

Интеграција паметне аутоматизације омогућила је модернизацију старих система и дигитализацију пословних процеса, што је у потпуности трансформисало начин пословања [61]. Паралелно са тим, компанија је имплементирала **роботску аутоматизацију процеса** како би убрзала дигитализацију, омогућавајући интеракцију софтверских уређаја заснованих на правилима или секвенцијалним акцијама. Ово поједностављује сложене процесе обраде докумената, омогућава корисничку подршку преко четботова и смањује зависност од папирних процедура.

GENERALI такође користи интелигентну аутоматизацију у процесима процене штете, идентификовања преваре и израчунавања надокнаде кроз анализу слика које корисници достављају преко мобилних уређаја [61]. Ова еволуција трансформисаног пословања очекује се да ће бити још израженија у наредној деценији. У оквиру нових стратегија, GENERALI планира инвестицију од 1,1 милијарду евра, са циљем даљег унапређења интелигентне аутоматизације и интеграције нових технологија, што ће довести до побољшаног квалитета услуга и позитивног утицаја на клијенте и све заинтересоване стране [61].

3.7.9. Примена вештачке интелигенције у роботизацији

Идеја вештачких робота и вештачких бића први пут се појављује у древним грчким митовима. Развој логичког резонувања код Аристотела, посебно кроз силогизам и дедуктивно закључивање, представља кључни корак у настојању човечанства да разуме

сопствену интелигенцију. Историјски гледано, развој робота и ВИ је међусобно повезан, оба концепта су се развијала паралелно и један је стимулисао напредак другог [22]. Иако корени ВИ имају дубоку историјску позадину, модерна концепција ВИ као технологије датира мање од једног века [22].

Према Mondala, интеграција софтверских решења заснованих на ВИ у области обуке и развоја запослених омогућила је смањење трошкова за више од 70% у поређењу са традиционалним методама обуке [81].

Робот, у контексту ВИ, представља рачунарски програм који је дизајниран да комуницира са људским корисницима, углавном путем интернета. Ова комуникација може бити текстуална или гласовна, при чему робот реагује на текстуалне или говорне инструкције [15]. Роботизовани системи са интегрисаном ВИ омогућавају аутоматизацију интеракција са корисницима, што је кључно за примену у различитим индустријама, укључујући услужни сектор, производњу и корпоративну обуку.

Због тренутног напретка технологије, живимо у фази у којој се роботи све више интегришу у свакодневни живот, а многи од њих поседују одређени степен ВИ. Роботи дизајнирани за интеракцију са људима често имају антропоморфне карактеристике, као што су лица са очима и устима. Међутим, без обзира на њихов спољни изглед, сви роботи имају три основна састојка који их дефинишу [159]:

1. **Сензори** – омогућавају роботима да прикупљају информације из окружења, укључујући визуелне, звучне и тактилне податке;
2. **Контролни системи** – обрађују податке добијене од сензора и доносе одлуке о акцијама које робот треба да изврши и
3. **Програм** - дефинише правила по којима робот функционише и обезбеђује алгоритме за извршавање задатака, укључујући интеграцију ВИ за сложене одлуке.

Системи са ВИ развијају се из године у годину, а роботи постају све способнији да имитирају људско понашање у различитим ситуацијама. Захваљујући овом напретку, све више их интегришемо у наше свакодневне активности како би нам пружили помоћ и олакшали рад. Иако способности ових система расту, још увек није могуће прецизно предвидети када или да ли ћемо развити „моћну“ ВИ и потпуно реализовати њен потенцијал. Поред тога, развој ових технологија носи са собом бројне замке и ризике на које је потребно обратити пажњу, јер последице неких од њих могу бити озбиљне и застрашујуће.

3.7.10. Предности и слабости вештачке интелигенције

ВИ има значајан потенцијал у смањењу трошкова и унапређењу корисничког искуства, док се процењује да би њен допринос глобалној економији до 2030. године могао достићи 15,7 билиона долара. Истраживање компаније Gartner указује да ће ВИ у будућности бити интегрисана у готово све пословне процесе [68].

Међутим, брзи напредак ВИ носи и одређене изазове. Један од најчешће дискутабилних ризика је потенцијална замена људске радне снаге, што би могло довести до губитка великог броја радних места. Истовремено, предвиђања показују да ће до 2024. године 70% компанија које се ослањају искључиво на машинско учење имати веће трошкове за ВИ у поређењу са организацијама које комбинују више различитих техника ВИ [68].

Са друге стране, ВИ већ надмашује људе у анализи великих количина података и планирању процеса заснованих на статистичким моделима, што представља значајну конкурентску предност. Аутоматизација рутинских и понављајућих активности један је од највећих бенефита, према студији HubSpot-а, маркетиншки стручњаци тренутно скоро трећину радног дана проводе изводећи такве задатке, попут писања е-порука или прикупљања података. У тим сегментима, ВИ може побољшати ефикасност, тачност и ослободити време за задатке који захтевају људску креативност и стратешко размишљање [68].

Такође, ВИ омогућава идентификацију образаца, трендова и ризика који би људима могли остати непримећени, па тако доприноси доношењу квалитетнијих одлука и подстиче иновације. Иако може да замени одређене послове, истраживања показују да је тренутно пре посматрамо као подршку људском раду, технологија која унапређује, а не супституише људски фактор у целини.

Укратко, ВИ доноси бројне предности на пољу ефикасности, прецизности и економског раста, али истовремено изискује пажљиво управљање ризицима, посебно у домену тржишта рада и етичке употребе технологије

ВИ се брзо развија и налази примену у све већем броју области, а при томе пружа бројне предности:

Смањење људске грешке – Једна од најзначајнијих предности ВИ огледа се у повећању тачности и поузданости, јер се одлуке заснивају на обимним подацима и прецизно дефинисаним алгоритмима. Уколико су системи правилно конфигурисани, могућност грешке се може свести на минимум.

Елиминисање ризика за људе – ВИ се често примењује у окружењима где би људи били изложени опасностима. Роботи са ВИ могу изводити сложене или опасне задатке без ризика по људску безбедност, уз већу тачност и доследност.

Континуиран рад (24/7) – За разлику од људи, системи ВИ могу непрекидно функционисати, без пауза и умора, и истовремено обављати велики број активности уз висок ниво прецизност.

Дигитална асистенција – ВИ се све чешће користи за подршку корисницима. Савремени четботови и виртуелни асистенти могу обављати комуникацију на начин који често тешко разликовати од људске интеракције.

Подстицање иновација – Брз технолошки развој подстакнут је управо ВИ, која омогућава креирање нових решења у различитим секторима и помогне у решавању комплексних проблема.

Непристрасно доношење одлука – ВИ нема емоције, предрасуде или субјективне ставове, што омогућава рационалније и објективније одлучивање, засновано искључиво на подацима.

Аутоматизација рутинских и понављајућих задатака – Провера докумената, административна подршка и други рутински процеси могу се делегирати ВИ системима, чиме се људски ресурси ослобађају за стратешке и креативне активности.

Свакодневне апликације – Бројне апликације које користимо свакодневно, попут оних за предвиђање времена или персонализацију садржаја, засноване су на ВИ, што олакшава функционисање у модерном друштву.

Примена у опасним условима – ВИ системи омогућавају обављање задатака у областима као што су рударство, нуклеарна индустрија или одржавање критичне инфраструктуре, где би људска интервенција носила висок ризик.

Медицинске апликације – ВИ има значајан утицај на здравствену заштиту. Помоћу софистицираних аналитичких модела могуће је идентификовати здравствене ризике,

унапредити дијагностику, подржати развој персонализоване терапије и убрзати истраживања у области медицине [50].

Поред наведених, у литератури се могу пронаћи и следеће предности ВИ [123]:

Побољшано доношење одлука – ВИ омогућава анализу великих количина података и препознавање образаца који често остају непримећени људима. То доприноси бржем и поузданијем доношењу одлука, као што је случај са медицинским системима за рано откривање болести путем анализе слике.

Смањење ризика – Преузимање задатака у опасним или непредвидивим условима значајно умањује ризике по људе. Пример представља аутоматизовано откривање претњи и реаговање у сајбер-безбедности, чиме се убрзава процес и растеређују људски ресурси.

Континуирана доступност – За разлику од људи, системи ВИ могу радити 24 часа дневно, без прекида и умора. Типичан пример су онлајн чет-подршке које корисницима пружају услуге у сваком тренутку.

Дигитални асистенти – Напредна решења као што су четботови и гласовни асистенти омогућавају аутоматизацију једноставних задатака, унапређујући корисничко искуство и смањујући потребу за људским ангажманом у иницијалној комуникацији.

Непристрасно одлучивање – Будући да не поседује емоције нити предрасуде, ВИ може допринети објективнијем доношењу одлука. Ово је посебно значајно у процесима као што је запошљавање, где је важно смањити дискриминацију и повећати разноликост.

Аутоматизација понављајућих задатака – ВИ значајно повећава ефикасност аутоматизацијом рутинских и монотоних понављајућих активности, као што је контрола квалитета у индустријској производњи.

Откривање преваре – ВИ може анализирати велике скупове података, идентификовати неубичајене обрасце и правовремено откривати сумњиве активности, што је од великог значаја за финансијски сектор.

Повећавање продуктивности радне снаге – Аутоматизацијом техничких и административних процеса запослени се могу усмерити на креативније и стратешки важније задатке, што подиже укупан ниво продуктивности.

Ефикасна обрада великих података – ВИ у кратком року може да анализира огромне количине података, пружајући прецизније прогнозе и подршку у доношењу одлука у реалном времену.

Решавање сложених проблема – Захваљујући способности идентификације скривених образаца, ВИ може допринети решавању комплексних изазова и подстаћи развој иновативних решења у различитим индустријама.

Ове предности ВИ имају значајан утицај на побољшање ефикасности, смањење грешака, повећање безбедности и доприносе напретку у различитим индустријама и у свакодневном животу. Савремени ВИ системи, као што је ChatGPT, способни су да анализирају велике количине података, подрже процесе доношења одлука, аутоматизују рутинске задатке, унапреде интеракцију са корисницима и допринесу већој продуктивности и оптимизацији пословања.

Табела 3.7.2 Предности и недостаци вештачке интелигенције, [50]

Предности коришћења вештачке интелигенције	Недостаци коришћења вештачке интелигенције
Повећање продуктивности	Недостатак креативности и иновација
Обављајте понављајуће задатке (аутоматизоване задатке) брже и ефикасније	Програмирање и постављање ВИ је захтевно и представља (превише) високе трошкове за многе организације
Бржа и прецизнија обрада, складиштење и анализа великих количина података	Одсуство емоција и немогућност сагледавања емоција
Широка применљивост (употреба у многим секторима и доменама)	Високи трошкови и сложеност ВИ примене
Побољшање квалитета живота	Етичка и безбедносна питања и резерве
Ослобађање запослених	Невољност запослених или ширег друштва
Увек „доступан“ (доступност 24/7), не умара се, ефикасност и продуктивност не варирају	ВИ доноси смањење броја запослених у одређеним индустријама и захтев за промену вештина и компетенција запослених
Објективност и непристрасност	Неопходна ажурирања и надоградње

Најчешће маркетиншке активности у пословању на почетку размене обухватају истраживање тржишта, развој нових производа, одређивање цена, обезбеђивање ресурса за производни процес, оглашавање, продају и дистрибуцију производа. Савремени ВИ системи, укључујући и конverzацијске моделе као што је ChatGPT, делују као подршка у бројним маркетиншким процесима, могу аутоматизовати анализу тржишта, генерисати предлоге за различите маркетиншке стратегије и креирати садржаје за комуникацију са потрошачима.

Ипак, ова технологија има одређена ограничења. Будући да се заснива на моделима машинског учења обученим на већ постојећим подацима, ChatGPT не поседује увек

најновије, специфичне или доменски прецизне информације. Поред тога, недостатак сопствених емоција, интенција и дубљег разумевања људског контекста може довести до комуникације која делује неутрално, генерализовано или недовољно прилагођено циљној публици.

Маркетинг у великој мери почива на креативности, иновацијама и разумевању психолошких аспеката понашања потрошача. За сада, ВИ може подржати креативне процесе кроз генерисање предлогака и брзу обраду великих количина података, али недостају јој интуитивна и емпатична компонента која је карактеристична за људско стваралаштво и импровизацију у непосредној комуникацији са купцима. У том контексту, увођење ВИ у маркетинг не треба посматрати као замену људског фактора, већ као алат који допуњује и унапређује његове капацитете.

Иако ВИ доноси бројне предности, она истовремено носи и одређене недостатке, као и важна етичка и друштвена питања. Међу најзначајнијим ограничењима су недовољна креативност, недостатак емоционалне интелигенције и изазови у домену етичког одлучивања, што може утицати на начин на који ова технологија функционише у интеракцији са људима и друштвом у целини. Поред тога, повећана зависност од ВИ отвара питања у вези са приватношћу података, безбедношћу информационих система и утицајем на тржиште рада, посебно у погледу аутоматизације радних места. Сви ови изазови захтевају систематичан и одговоран приступ у развоју, примени и регулисању ВИ система.

Међутим, упркос бројним предностима, ВИ има и одређене недостатке, међу којима се издвајају [5]; [128]:



Слика 3.7.5 Недостаци вештачке интелигенције, [5]

Високи трошкови развоја и имплементације – Увођење ВИ захтева значајна финансијска улагања у хардвер, софтвер и стручан кадар, као и редовна ажурирања и одржавање система. Због тога мала предузећа често немају капацитете да примене ове технологије у свом пословању.

Повећана незапосленост – Са развојем ВИ и аутоматизације, машине преузимају послове који су раније били резервисани за људе. То може довести до губитка радних места, социјалне нестабилности и нарушавања осећаја припадности кроз рад.

Недостатак креативности – Иако ВИ може да учи из података и ствара нови садржај, њена „креативност“ заснива се на већ постојећим обрасцима. Недостају јој апстрактно размишљање, машта и способност да створи у потпуности оригиналне идеје.

Ограничене могућности самопобољшања – Упркос алгоритмима машинског учења, резултати ВИ могу бити недоследни, а грешке у учењу могу довести до нетачних и непредвидивих исхода, посебно у ситуацијама које одступају од познатих шаблона.

Недостатак разумевања етике и морала – Машине не поседују моралне вредности и здрав разум. Уколико се нађу у ситуацији за коју нису програмиране, могу испољити неочекивано понашање или системске грешке [5].

Недостатак емоционалне интелигенције – Иако могу да препознају одређене емоционалне сигнале, системи ВИ не поседују истинску емпатију, што ограничава њихову примену у професијама које захтевају комуникацију и дубинско разумевање људи.

Подстицање људске пасивности – Прекомерно ослањање на технологију може довести до смањења развоја когнитивних, социјалних и професионалних вештина, као и до опадања мотивације за учење и критичко размишљање.

Ризици по приватност и безбедност – Функционисање ВИ захтева обраду великих количина података, често личних и осетљивих. То повећава могућност злоупотребе, сајбер-напада и нарушавања приватности.

Социјална неједнакост – Аутоматизација може повећати јаз између високо квалификованих радника и оних чије послове машине лакше замењују, што доводи до већих економских и социјалних разлика.

Прекомерно ослањање на технологију. – Уколико системи закажу, људи могу бити неспремни или неспособни да ефикасно реагују, што ствара ризике у критичним областима као што су медицина или саобраћа.

Етички и правни изазови – Развој ВИ често је бржи од креирања регулаторних оквира и стандарда за одговорност, транспарентност и контролу њене употребе.

Утицај на животну средину – Развој и рад ВИ система захтевају огромне рачунарске ресурсе и енергију, што доприноси загађењу и климатским променама.

Недостатак здравог разума и разумевања контекста – ВИ се ослања на податке, али може погрешно тумачити ситуације које подразумевају интуитивно или контекстуално расуђивање.

Нетранспарентност у доношењу одлука – Многи напредни модели, нарочито дубоке неуронске мреже, функционишу као „црне кутије“, што отежава разумевање, проверу и контролу генерисаних одлука.

Све интензивнија употреба ВИ нуди бројне могућности за унапређење различитих области друштва и индустрије. Кључне предности примењене ВИ обухватају:

- **Унапређена аутоматизација** – ВИ подиже аутоматизацију, један од основних покретача модерног радног окружења, на виши ниво. Системи засновани на ВИ могу да се прилагођавају новим задацима и тиме остварују већу продуктивност и ефикасност у односу на традиционалне машине. Роботи вођени алгоритмима ВИ способни су за обављање комплексних задатака у производњи, логистици и контроли квалитета, што смањује ризик од грешака, побољшава квалитет производа и повећава укупну оперативну ефикасност [152].
- **Персонализоване услуге** – Захваљујући могућности анализе великих количина података, ВИ омогућава боље разумевање преференција и понашања корисника. На тај начин предузећа могу креирати персонализоване производе и услуге, што доприноси већем задовољству и лојалности потрошача. На пример, платформе за електронску трговину користе ВИ алгоритме за препоруку артикала на основу историје претраживања и куповине, чиме се корисницима олакшава избор и подстиче куповина [152].
- **Побољшана здравствена заштита** – Примена ВИ у здравственом сектору има потенцијал да значајно унапреди дијагностику, лечење и исходе пацијената, истовремено смањујући трошкове. Алгоритми машинског учења могу анализирати медицинске слике и податке о пацијентима, што омогућава рано и прецизно откривање болести, благовремену интервенцију и побољшан процес лечења. Поред

тога, ВИ технологије могу оптимизовати здравствене системе кроз ефикасније управљање ресурсима и смањење отпада [152].

- **Паметнији транспорт** – ВИ трансформише транспортну индустрију побољшањем безбедности, ефикасности и одрживости саобраћаја. Самовозећа возила која користе ВИ технологије могу умањити број саобраћајних незгода изазваних људским фактором и унапредити проток саобраћаја. Такође, системи засновани на ВИ омогућавају оптимизацију логистичких процеса, смањење потрошње горива и рационализацију трошкова [152].

Иако ВИ доноси бројне предности, њен развој и примена носе и значајне ризике.

Најистакнутије опасности односе се на аутоматизацију послова, нарушавање приватности и развој аутономног наоружања. Примери потенцијалних негативних последица употребе ВИ дати су у наставку.

- **Губитак радних места услед аутоматизације** – Са све широм применом ВИ у различитим индустријским секторима расте забринутост да би она могла заменити велики број радника. Према проценама, ВИ технологије могу заменити и до 30% тренутно одрађених радних сати, јер су способне да преузму велики број рутинских и технички захтевнијих задатака. Како ВИ системи постају све агилнији и интелигентнији, потреба за људским радом у појединим областима може се значајно смањити, посебно имајући у виду да многи запослени нису довољно обучени за нове технолошке улоге [142].
- **Нарушавање приватности и безбедности података** – Многи ВИ системи захтевају приступ великим количинама података како би остварили персонализовано корисничко искуство или како би се даље унапређивали кроз тренинг модела. С тим у вези, јављају се бројна питања у погледу заштите података, потенцијалне злоупотребе информација и неовлашћеног праћења корисника, посебно у случају бесплатних дигиталних алата који се ослањају на прикупљање личних података [142].
- **Развој аутономног наоружања** – Појавом оружја које користи ВИ да самостално идентификује и неутралише циљеве, јавља се озбиљна опасност по цивилну безбедност и међународну стабилност. Иако се примена оваквих система настоји регулисати прописима, њихова употреба у ратним ситуацијама може довести до непредвидивих последица. Такође постоји бојазан да ће комерцијални и војни

интереси убрзати развој оваквих технологија, упркос бројним етичким упозорењима [142].

Будући развој ВИ носи значајан потенцијал, јер би могао темељно трансформисати индустрију, унапредити људске когнитивне способности и допринети решавању сложених глобалних изазова. Очекивано је да ВИ допринесе бржем развоју нових лекова, оптимизацији глобалних ланаца снабдевања и стварању нових облика уметничког изражавања, што би могло утицати на бројне аспекте свакодневног живота и рада.

У контексту будућих праваца развоја, један од кључних изазова јесте прелазак са такозване уске (специјализоване) ВИ на општу ВИ. Општа ВИ, теоријски, означава систем који је способан да учи, расуђује и делује на нивоу приближном људској интелигенцији. Ако би такав степен развоја био постигнут, могао би омогућити знатно већи степен аутоматизације и ефикасније решавање комплексних проблема [65].

С друге стране, све већа софистицираност ВИ изазива бројне друштвене и етичке забринутости. Најзначајнија питања односе се на могуће губитке радних места, ширење дезинформација и нарушавање приватности. Додатно, у јавном и научном дискурсу све чешће се расправља о могућности да ВИ достигне или превазиђе ниво људског когнитивног функционисања, феномену познатом као технолошка сингуларност. Такав сценарио носи ризик од непредвидивих последица и сложених моралних дилема.

Успостављање одговарајућег регулаторног оквира приметно је истакнуто као неопходан корак ради обезбеђивања одговорног развоја и примене ВИ технологија. Зато се све више наглашава улога законодавних институција и пословних политика у обликовању будућности ВИ, са циљем максималног искоришћавања користи и минимизирања потенцијалних ризика [65].

3.8. Утицај вештачке интелигенције на индустрију

ВИ има различит утицај на индустрију у зависности од сектора примене.

Образовање – На свим нивоима образовања очекују се значајне промене услед имплементације ВИ технологија. Ученици и студенти добијаће персонализоване едукативне садржаје и подршку који су прилагођени њиховим индивидуалним потребама, постигнућима и стилу учења. ВИ може анализирати резултате, напредак и понашање ученика како би

креирала ефективне стратегије nastave и омогућила педагозима прецизније планирање наставног процеса. Према проценама, до 2028. године образовни систем би могао значајно да се промени у односу на тренутни, постајући високо дигитализован и адаптиван [9].

Брига за здравље – У области здравства очекује се да ВИ постане стандардни алат у дијагностичкој пракси лекара и медицинских техничара. ВИ системи могу допринети повећању тачности и брзине дијагнозе анализом великих количина медицинских података, укључујући лабораторијске налазе, електронске здравствене картоне и радиолошке снимке. Ипак, примена ВИ у овој области носи одређене изазове. Осетљивост и обим података о пацијентима захтевају строгу регулативу, што усложњава правно и етичко управљање тим информацијама. Додатно, потреба за усклађивањем са законским прописима и заштитом приватности може довести до повећаних оперативних трошкова у здравственим установама [9].

Финансије – У финансијском сектору, примена ВИ има потенцијал да значајно унапреди ефикасност и безбедност пословних процеса. Комбинација обраде природног језика и машинског учења омогућава банкама, финансијским саветницима и дигиталним асистентима да пружају подршку клијентима у различитим аспектима пословања, од откривања превара и праћења кредитног ризика до финансијског планирања и услуга корисничке подршке. Поред тога, ВИ може бити коришћена за развој бржих и софистициранијих инвестиционих стратегија, што је посебно значајно за институционалне и велике инвеститоре [9].

Правни сектор – У наредних пет година очекује се значајан утицај ВИ на правну индустрију. Мала и средња правна предузећа могу се суочити са смањењем броја запослених, јер тимови од једне до три особе који користе ВИ системе могу обавити послове који су раније захтевали рад 10–20 адвоката, и то брже и економичније. Четботови већ данас могу пружити основне сажетке важећег законодавства и формулисати нацрте уговорних клаузула, када се то затражи на одговарајући начин. Уколико тренд развоја ВИ настави убрзаним темпом, предвиђа се да би број људских адвоката у Сједињеним Америчким Државама могао опасти за 25% или више до 2028. године [9].

Превоз – У будућности се очекује значајно ширење примене аутономних возила у приватној и комерцијалној сфери. Од путничких аутомобила и камиона за транспорт робе на аутопутевима до свемирских летелица за превоз терета и људи на Месец, аутономна возила

представљају један од најдраматичнијих примера примене ВИ у свакодневном животу и индустрији [9].

3.9. Утицај вештачке интелигенције на будућност

Побољшана аутоматизација пословања – Око 55% организација је већ усвојило технологије ВИ, што указује на значајно повећање аутоматизације у будућности. Развој четботова и других дигиталних алата омогућава предузећима да користе ВИ за вођење једноставних разговора са клијентима и пружање одговора запосленима на честа питања. Поред тога, способности ВИ да анализира велике количине података и претвори налазе у визуелне и интерпретабилне форме омогућавају брже и прецизније доношење пословних одлука. Као резултат, руководиоци могу користити непосредне увиде које пружа ВИ како би доносили информисане и ефикасне одлуке [141].

Сметње на послу – Повећана аутоматизација пословања довела је до забринутости међу запосленима због могућег губитка радних места, с обзиром на то да многи њихови задаци могу бити преузети од стране система заснованих на ВИ. Један од кључних фактора за успешну интеграцију ВИ у радно окружење јесте улагање у образовање и обуку запослених, како би се омогућила преквалификација и припрема за нове улоге које се развијају у складу са технолошким напретком [141].

Питања приватности података – За функционисање ВИ система компанијама је потребан приступ великим количинама података ради обуке модела који покрећу те алате. Усред забринутости јавности због начина прикупљања личних података потрошача, Федерална комисија за трговину САД (FTC) покренула је истрагу о методама прикупљања података од стране компаније OpenAI, са сумњом да је могуће дошло до кршења европских закона о заштити података. Као реакција на овакве изазове, администрација Биден-Харис развила је „AI Bill of Rights“, у којем је приватност података истакнута као један од основних принципа. Иако овај документ нема снагу закона, он одражава све веће напоре да се приватност података постави као приоритет и да се ВИ компаније подстакну на транспарентније и опрезније управљање подацима за обуку својих система [141].

Повећана регулација – Развој и примена ВИ могу утицати на интерпретацију правних питања, у зависности од исхода тужби везаних за генеративне ВИ у 2024. години.

На пример, питања интелектуалне својине постала су централна у контексту тужби за ауторска права поднетих против OpenAI од стране писаца, музичара и компанија као што је *The New York Times*. Ове тужбе имају значајан утицај на начин на који амерички правни систем дефинише приватну и јавну имовину, а евентуални неуспехи могу имати велике последице по OpenAI и његове конкуренте [141]. Поред тога, етичка питања повезана са генеративном ВИ повећала су притисак на америчку владу да заузме активнији приступ регулацији. Администрација Биден-Харис је у том контексту задржала умерену позицију кроз извршну наредбу која успоставља смернице о приватности података, заштити грађанских слобода, одговорном коришћењу ВИ и другим кључним аспектима. Међутим, у зависности од промена у политичком окружењу, могуће је да влада уведе строже прописе [141].

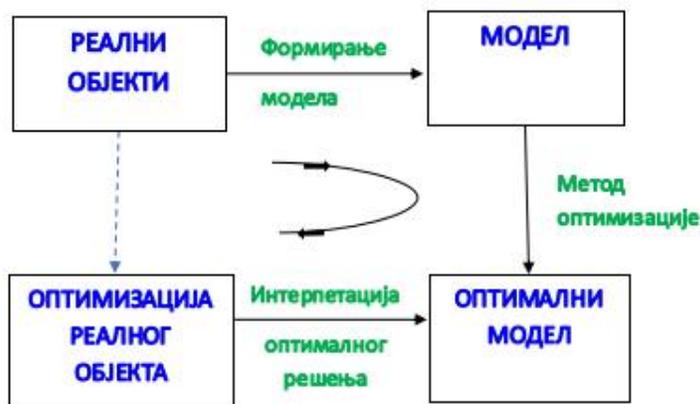
Забринутост због климатских промена – ВИ има потенцијал да значајно утиче на питања климатских промена и заштите животне средине. Са једне стране, ВИ се може посматрати као алат за оптимизацију ланаца снабдевања, примену одрживих процедура и смањење емисије угљеника, што пружа нове могућности за еколошки прихватљивију технологију. Са друге стране, развој и одржавање ВИ модела захтева значајне количине енергије и ресурса, што може довести до повећане емисије угљеника и потенцијално погоршати укупне еколошке услове. У том контексту, иако ВИ може подржати климатски свесну технологију, њена производња и употреба носе сопствене изазове у погледу одрживости [141].

Сажето посматрано, ВИ се позиционирала као један од кључних покретача савремених промена у привреди и друштву. Њена примена у различитим индустријским секторима, од пословног одлучивања и маркетинга, преко образовања, до аутоматизације и роботизације, указује на то да будућност развоја лежи у интеграцији интелигентних система који могу да анализирају податке, предвиђају исходе и подрже доношење оптималних одлука. Управо због тога, да би се у потпуности разумели потенцијали и ограничења ВИ у реалним пословним окружењима, неопходно је размотрити и теоријску позадину примене математичких модела који чине основу за рад и развој савремених ВИ система. Ови модели омогућавају структурисано, мерљиво и проверљиво унапређење пословних процеса, што ће бити детаљније анализирано у наредном поглављу.

4. ЧЕТВРТО ПОГЛАВЉЕ - ТЕОРЕТСКА ПОЗАДИНА

ПРИМЕНЕ МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА

Моделирање представља један од кључних сегмената истраживања различитих система, укључујући и оне који постоје у оквиру пословних процеса. Једна од специфичних метода у оквиру процеса оптимизације, која се односи на реалне објекте, а не подразумева директно експериментално тестирање, јесте примена модела објекта оптимизације. Овај приступ омогућава анализу и предвиђање понашања система на основу математичких и симулационих метода, према поступку приказаном на слици 4.0.1 [97].



Слика 3.9.1 Слика 4.0.1 Оптимизација реалног објекта помоћу модела, [97]

Математички модели представљају апстрактне алате који омогућавају представљање реалних система кроз математички апарат, односно језик и структуре. За разлику од физичких модела, математички модели не само да описују функционалне аспекте система, већ могу приказати и друге карактеристике оригиналног објекта, укључујући физичке, геометријске, технолошке, економске и друге аспекте. Процес креирања математичког модела обично почиње разлагањем објекта на елементарне делове различите природе, након чега следи њихово моделирање. Ово моделирање узима у обзир и факторе окружења који су значајни за физичку суштину одређених сегмената система, а резултат је формирање одговарајућег система једначина који описује функционалност и међусобне односе делова система.

4.1. Дефинисање и историјски развој математичких модела

У литератури се наводи да математички модел представља апстрактну и поједностављену математичку конструкцију, која је повезана са одређеним делом стварности и креирана ради специфичних сврха [8]. У савременим индустријама, где се квалитет, брзина и економичност производње често стављају испред изазова иновација, математички модели пружају значајан оквир за анализу и унапређење сложених пословних процеса. Шематски, процес математичког моделовања може се приказати као на Слици 4.1.1.



Слика 4.1.1 Структура математичких модела, [8]

4.2. Примери примене математичких модела у Србији

Математички модели оптимизације пословних процеса заснивају се на прецизној дефиницији циљева, ограничења и променљивих које обликују ток и ефикасност процеса. Применом ових модела могу се идентификовати кључне тачке побољшања, предвидети могући исходи и доносити информисане одлуке у реалном пословном окружењу.

4.2.1. Резултати анкете о примени математичких модела у Србији

Онлајн анкета спроведена ради истраживања примене математичких модела у Републици Србији укључила је 42 испитаника. Од тог броја, 61,5% чинили су мушки, а 38,5% женски учесници (График 4.2.1.1). Следе општи подаци о испитаницима, који пружају

контекст за даље анализе и закључке о примени математичких модела у домаћим организацијама.

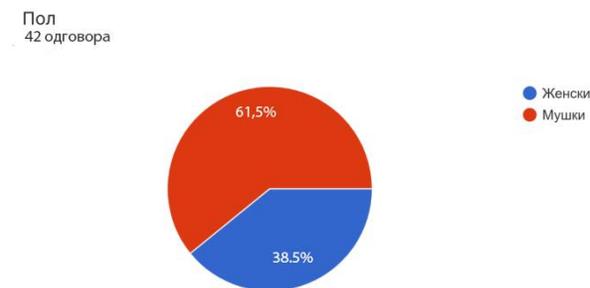


График 4.2.1.1 Полна структура учесника у проценима

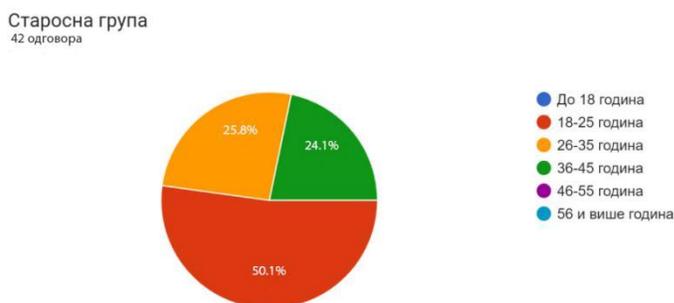


График 4.2.1.2 Структура узорка према старости

Највећи број учесника анкете био је у старосној групи од 18 до 25 година, чинећи 50,1% испитаника. Следећа старосна група, од 26 до 30 година, обухватила је 25,8% учесника, док је најмањи број испитаника био у групи од 36 до 45 година, са 24,1% (График 4.1.1.2).

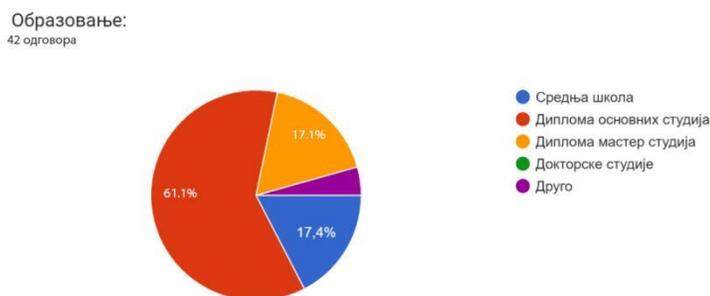


График 4.2.1.3 Структура узорка по образовању

Највећи проценат учесника анкете, 61,1%, чине испитаници са високо-школским образовањем, односно дипломом основних студија. Диплому мастер студија поседује 17,1% испитаника, док је 17,4% учесника завршило средњу школу. Однос образовања испитаника представљен је на Графику 4.2.1.3.

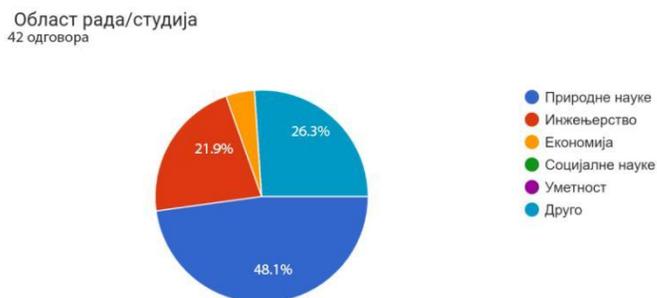


График 4.2.1.4 Структура узорка према области рада/студија

Од испитаних учесника, 48,1% је навело да њихова област рада или студија припада природним наукама, 21,9% инжењерским наукама, 26,3% медицинским наукама, док је остатак анкетираних радио или студирао у области економије. Резултати овог питања приказани су на Графику 4.2.1.4. Следећа питања анкете односе се на примену математичких модела и ниво упознавања испитаника са овом облашћу.

На Графику 4.2.1.5. приказани су резултати питања о нивоу упознавања испитаника са математичким моделима. Већина учесника, 65,4%, изјавила је да поседује умерено знање о математичким моделима, док 21,9% има само основно знање о овој теми. Само 4,1% испитаника навело је да има напредно знање, док исти проценат испитаника није био упознат са појмом математичких модела.

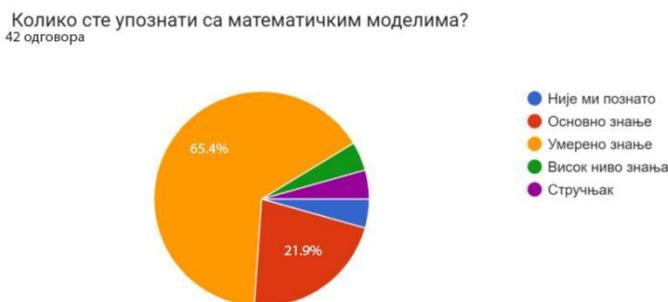


График 4.2.1.5 Структура узорка у односу на познавање математичких модела

Да ли користите математичке моделе у свом раду или студијама?
42 одговора

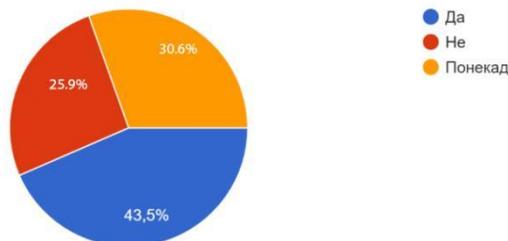


График 4.2.1.6 Структура узорка по примени математичких модела у раду

На питање о учесталости примене математичких модела у свом раду или студијама, 43,5% испитаника је навело да их редовно користи, 30,6% да их повремено користи, док 25,9% није користило математичке моделе у свом раду. Резултати су приказани на Графику 4.2.1.6.

Међу испитаницима који користе или повремено користе математичке моделе, 39,3% сматра да су они веома корисни, 34,4% да умерено доприносе раду, 17,1% изјављује да модели уопште не помажу, а 9,2% сматра да само делимично помажу. Приказ ових резултата дат је на Графику 4.2.1.7.

У којој мери математички модели помажу у вашем раду или студијама?
42 одговора

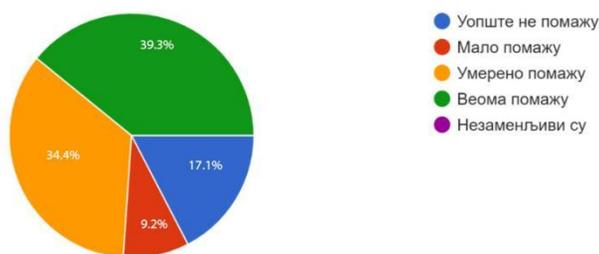


График 4.2.1.7 Ниво практичне примене и корисности математичких модела

На питање о врстама математичких модела које најчешће користе, испитаници су навели да највише користе линеарне моделе (60,1%), затим статичке моделе (39,7%), док

27,1% користи детерминистичке моделе, а 12% нелинеарне моделе. Остали испитаници користе статичке, стохастичке или друге типове математичких модела. Резултати су приказани на Графику 4.2.1.8.

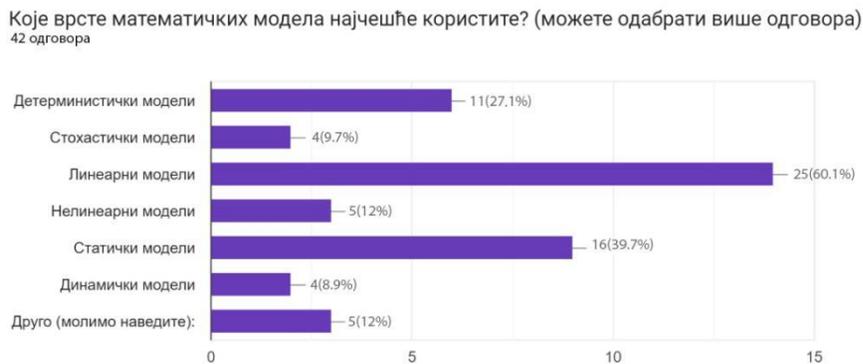


График 4.2.1.8 Структура узорка према врсти примењених математичких модела

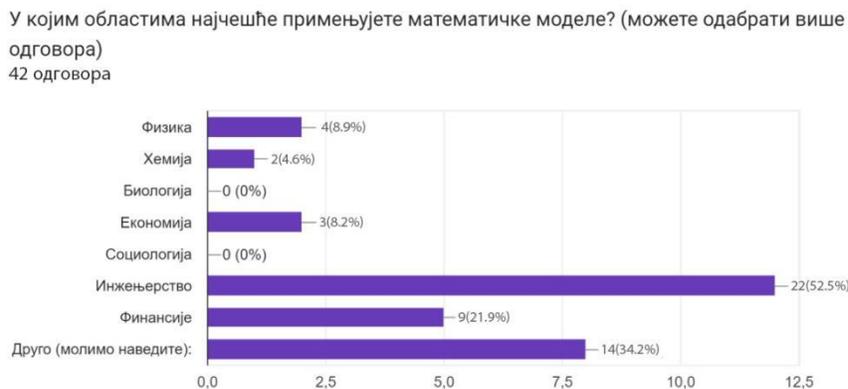


График 4.2.1.9 Процент испитаника по областима примене

На питање о областима у којима најчешће примењују математичке моделе, 52,5% испитаника навело је инжењерство, 21,9% финансије, 8,2% економију и физику, 4,6% хемију, док је 34,2% испитаника примену навело у осталим областима. Резултати су приказани на Графику 4.2.1.9.

Које алате или софтвер најчешће користите за математичко моделовање? (можете одабрати више одговора)
42 одговора

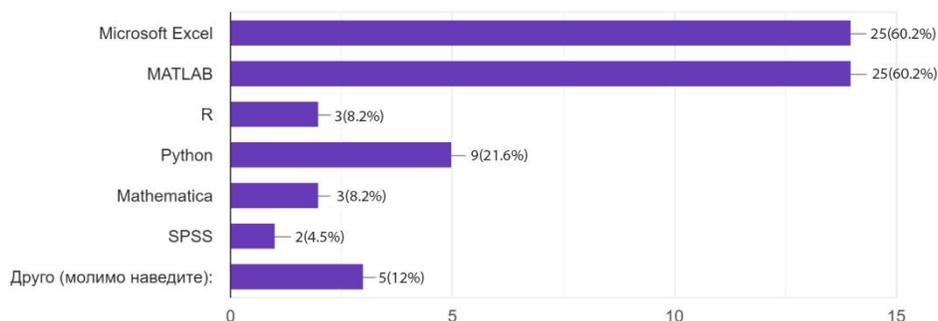


График 4.2.1.10 Ниво коришћења различитих алата/софтвера за математичко моделовање

На Графику 4.2.1.10. приказани су одговори испитаника на питање о софтверским алатима који се најчешће користе при изради математичких модела. Већина испитаника, 60,2%, користи Microsoft Excel или MATLAB, док 21,6% користи Python.

Који су главни изазови са којима се суочавате приликом коришћења математичких модела? (можете одабрати више одговора)
42 одговора

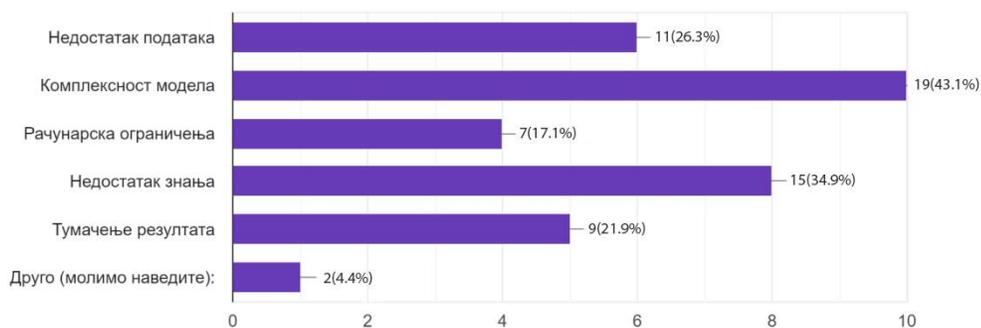


График 4.2.1.11 Ниво и врста изазова у коришћењу математичких модела

Највећи број испитаника, 43,1%, навео је да је комплексност модела најзначајнији изазов са којим се сусрећу током рада са математичким моделима. Недостатак знања представља следећи најчешћи проблем, наводи 34,9% учесника анкете. Са друге стране, 26,3% испитаника сматра да је недостатак података највећа препрека, док 21,9% указује на

потешкоће у тумачењу резултата. Рачунарска ограничења као изазов препознато је од стране 17,1% анкетираних. Преглед резултата представљен је на Графику 4.2.1.11.

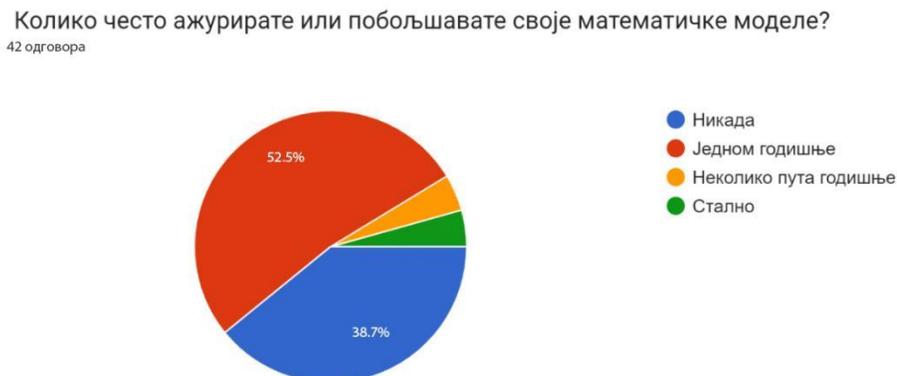


График 4.2.1.12 Ниво и учесталост побољшања математичких модела

На питање о учесталости ажурирања или побољшања математичких модела, 52,5% испитаника навело је да то чини једном годишње, 38,7% никада, док је остатак изјавио да ажурира моделе неколико пута годишње или стално. Резултати су приказани на Графику 4.2.1.12.

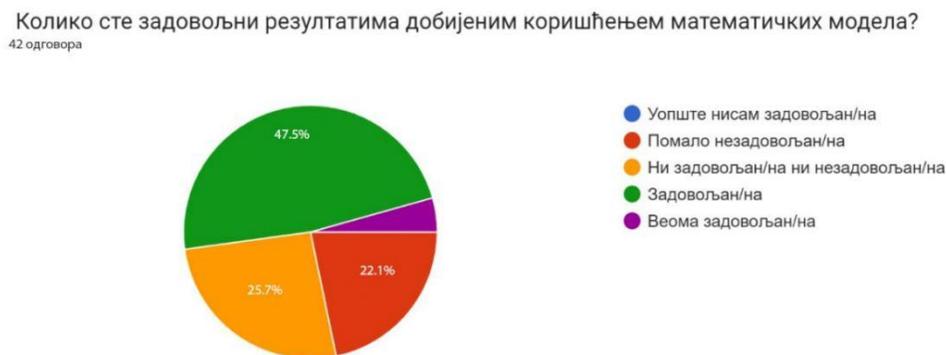


График 4.2.1.13 Ниво задовољства испитаника резултатима математичког моделовања

На основу резултата анкете, јасно је да математички модели представљају важан алат за оптимизацију пословних процеса, а њихова примена омогућава повећање ефикасности, конкурентности и одрживог развоја организација. Испитаници су показали умерено до

високо знање о моделима и препознали њихову корист у различитим областима, при чему су најчешће коришћени линеарни и статички модели уз подршку софтверских алата као што су Excel, MATLAB и Python. Истовремено, анкетирани су идентификовали комплексност модела и недостатак података као главне изазове у примени, што указује на потребу даље едукације и прилагођавања модела реалним условима. Ови налази потврђују значај математичког моделовања као основе за анализу и оптимизацију сложених система, што природно води ка следећем поглављу у којем ће бити представљен конкретан математички модел топљења композита метал-полимер за бризгање у цилиндричном домену.

5. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ТОПЉЕЊА КОМПОЗИТА МЕТАЛ-ПОЛИМЕР ЗА БРИЗГАЊЕ У ЦИЛИНДРИЧНОМ ДОМЕНУ

Поглавље 5 представља практичну примену теоријских концепата развијених у претходном поглављу, где су објашњене основне једначине хидродинамике и термодинамике које дефинишу понашање полимерних течности. Конкретно, коришћењем Навје-Стоксових једначина за инкомпресибилне Њутнове течности, као и Максвелове дистрибуције брзина молекула, овај део дисертације омогућава прелаз од апстрактне математичке формулације ка реалним условима процеса убризгавања у калупе. Стога, све анализе брзине протока, расподеле притиска и температуре топљења које ће бити размотрене у овом поглављу директно се ослањају на концепте очувања енергије, масе и импулса представљене у претходном делу рада.

Математички модел оптимизације објекта представља основну математичку основу техничко-економске оптимизације. Ово поглавље посвећено је примени математичког модела у процесу пластификације и убризгавања у калупе у цилиндричном домену, уз разматрање фундаменталних термодинамичких карактеристика као што су расподела притиска, брзина честица, температура топљења и густина протока честица.

У овом моделу констатована је термодинамичка повезаност, односно веза између вектора брзине честица и скаларне функције притиска, при чему је брзина честица дефинисана тродимензионалном Максвеловом расподелом, усклађеном са законом о очувању енергије. Математички модел представљен је као проблем почетне-граничне вредности у параболичним једначинама другог реда у цилиндричном домену [134].

Посебно је важно напоменути да тродимензионални закон о очувању енергије регулише ефекат нестабилности притиска у односу на вектор брзине честица при турбулентном струјању. Ово омогућава дефинисање и анализу расподеле притиска и пружа основу за доказивање теореме о постојању и јединствености класичних параметара. Као резултат, Максвелова дистрибуција брзине честица пружа погодан оквир за проучавање

непостојаних протока честица на више нивоа и за моделовање термодинамичке дифузивности током процеса убризгавања у калупе, уз посебан акценат на контролу температуре топљења.

У овом делу биће размотрен тродимензионални Навје-Стоксов проблем, који описује Њутнов ток способан за компресију, посебно када се растојање између две покретне тачке кретања дистрибуира према Максвеловом закону у зависности од брзине честица. Постојеће једначине за проток течности обухватају једначину очувања импулса, једначину очувања масе и једначину очувања енергије у тродимензионалном Картезијанском координатном систему.

Фундаментална идеја овог дела дисертације јесте проналажење стандардног решења кроз коришћење растојања између две тачке кретања, које је изражено функцијом брзине честица према Максвеловом закону. У том контексту, функција расподеле притиска одређена је законом очувања енергије, при чему расподела притиска може драстично и брзо да се мења и мора бити константно регулисана током процеса.

Познато је да су токови убризгавања у калупе углавном ламинарни и успорени, при чему успорени ток означава ситуацију у којој превладавају вискозне силе над силама убрзања и инерције. Историјски, за формулисање генералне једначине транспорта протока течности заслужан је француски научник Клод Луј Навје (1785–1836), чија су истраживања касније проширена радовима британског физичара Џорџа Габриела Стокса (1819–1903), који је дао значајан допринос теорији вискозног тока у периоду од 1845. до 1850. године.

Навје-Стоксове једначине управљају токовима компресивних, вискозних течности и примењиве су на токове топљеног полимера у процесу убризгавања, користећи принципе очувања енергије, масе и импулса. Ове једначине омогућавају прецизно моделирање динамике полимерних течности у цилиндричном домену, што представља основ за даљу анализу и оптимизацију процеса.

У овом делу дисертације биће представљено решење стабилности код такозваног „феномена транспорта“, са минимизацијом губитака и без потребе за експерименталном провером, применом принципа закона очувања енергије који се могу изразити одговарајућим математичким једначинама. Решење се заснива на принципима очувања масе, импулса (Њутнов други закон) и енергије (први закон термодинамике), како су их формулисали Стјуарт, Бирд и Лајтфут. Овим приступом се истражује трансфер импулса, енергије и масе,

при чему се обезбеђују алати за прецизно решавање проблема узимајући у обзир проток течности, пренос топлоте и дифузију.

Са термодинамичке тачке гледишта, познато је да турбулентни процеси могу бити и брзи и неповратни, уз претпоставку да молекули успостављају равнотежу веома брзо. У том контексту, дефинисање методологије за решавање проблема протока обухвата следеће кораке:

1. **Корак 1:** Цртање шематског приказа конфигурације тока, визуализација процеса на основу физичких принципа, избор прикладног координатног система и формулисање претпоставки о компонентама брзине.
2. **Корак 2:** Смањивање једначине континуитета у форму погодну за конкретан проблем.
3. **Корак 3:** Смањивање једначине кретања, односно Навје-Стоксове једначине, у форму која одговара анализи, при чему се користе резултати из једначине континуитета.
4. **Корак 4:** Дефинисање граничних и почетних услова који одговарају физичком систему.
5. **Корак 5:** Решавање диференцијалних једначина за компоненте брзине, што омогућава израчунавање волуметријског протока, напона смицања, дистрибуције брзине и потрошње енергије.
6. **Корак 6:** Анализа добијених резултата кроз скицирање профила брзине и њеног нагиба како би се утврдило да ли се налазе у разумним границама за разматрани проблем.

На основу наведеног, може се закључити да математички модел, у комбинацији са једначином континуитета, као и са почетним и граничним условима, обезбеђује све неопходне једначине за проналажење стандардног, јединственог и оригиналног решења при анализи турбулентног струјања. У оквиру такозваног „процеса транспорта“, величине као што су импулс, маса и енергија представљају суштинске математичке изразе основних физичких закона одржања. Резултати демонстрирају примену једначина равнотеже уз коришћење аналитичких техника и принципа математичког моделовања турбулентних процеса, који одговарају закону очувања енергије, посебно кроз дефинисање скаларне функције притиска.

Оригинално и јединствено решење овог случаја омогућава добијање поља брзине и расподеле притиска, која директно одређују стопе оптерећења на поља напрезања. При значајним температурним разликама неопходно је узети у обзир зависност густине, вискозитета и топлотне проводљивости од температуре. Претпоставља се да су математичке тачке, кроз које се одржавају једначине поља баланса, довољно бројне да омогуће карактеризацију својстава система на нивоу великог броја молекула, тако да нема дисконтинуитета од тачке до тачке. На тај начин се локална равнотежа може сматрати важећом.

Важно је нагласити да је Навје-Стоксова једначина применљива само за Њутнове течности у случају инкомпресибилних и компресибилних токова. За не-Њутнове течности било би неопходно развити нови математички модел. У одређеним ситуацијама, ова формулација и модел решавања проблема за Њутнове течности могу бити основа и за развој математичке нелинеарне методологије која би се примењивала на не-Њутнове течности, што представља потенцијални правац будућих истраживања докторске дисертације.

5.1. Прелиминарна суплементација

Дефинисаним математичким моделом процеса убризгавања у калупе представљене су три кључне операције: загревање полимера у јединици за убризгавање под притиском, топљење полимера у калупу и, на крају, отварање калупа ради вађења калупљеног производа. За овај процес представљен је математички приступ симулацији пластификације полимера током убризгавања у калуп. Практична истраживања указују да проблеми са којима се сусрећу произвођачи у процесу PIM (plastic injection molding) представљају и параметре који директно утичу на квалитет и димензије финалног производа.

Важно је напоменути да термодинамички параметри морају бити стриктно контролисани у овој фази процеса. Релевантна литература идентификује основне термодинамичке променљиве које имају значајан утицај на убризгавање, а измене у њиховим вредностима могу довести до варијација у квалитету производа. Технички посматрано, калуп представља централни елемент процеса, јер његови делови могу значајно утицати на финалне карактеристике производа, укључујући димензије, хомогеност материјала и термодинамичке особине. Оптимизацијом фазе убризгавања, кроз контролу стопе протока

топлоте, брзине ротације, расподеле температуре и времена убризгавања, могуће је обезбедити предвиђање довољног топлена полимера у свим фазама процеса, што води ка конзистентном квалитету производа.

Познато је да се координате кретања честица течности насумично мењају услед судара са другим честицама, као и са зидовима калупа. Због тога се њихова брзина стално варира. У том смислу, анализираћемо средњу брзину у односу на координате тачака дистрибуције, користећи Максвелову функцију дистрибуције брзина. Статистичка равнотежа у овом контексту није уобичајена механичка равнотежа, већ променљива, при чему мале флукуације физичких величина колебају око својих просечних вредности. Сви смерови кретања честице имају једнаку вероватноћу, док саме брзине зависе од координата средњег кретања, при чему укупна енергија система и средња брзина достижу коначне, стабилне вредности.

Имајући у виду проблем статистичке физике, претпоставка је да се све могуће координате средњег кретања $x \in R^3$ и функција дистрибуције $G(x - \xi, t)$ тачака одређених координата морају повиновати условима нормализације:

$$\int_{R^3} G(x - \xi, t) = 1$$

У том делу се помоћу Максвелове дистрибуције молекула између две тачке успоставља стање термодинамичке равнотеже као резултат хаотичних судара молекула. Важно је нагласити да закон дистрибуције честица код растојања између две тачке (Максвелова дистрибуција) не зависи од природе честица, нити од сила којима једне на друге делују. Поред наведеног код другог навода, Максвелов закон је више статистички него прецизан, када имамо већи број молекула по јединици запремине.

$$G_v(x - \xi, t) = \begin{cases} \frac{e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4vt}}}{(2\sqrt{\pi vt})^3} & \text{ако је } x \in R^3, t > 0 \\ 0 & \text{ако } x \notin R^3, t < 0 \end{cases}$$

или

$$G_v(x - \xi, t) = \begin{cases} \frac{e^{-\frac{(x_1 - \xi_1)^2 + (x_2 - \xi_2)^2 + (x_3 - \xi_3)^2}{4vt}}}{(2\sqrt{\pi vt})^3} & \text{ако је } x \in R^3, t > 0 \\ 0 & \text{ако } x \notin R^3, t < 0 \end{cases}$$

Приметно је да мали број молекула у запремини са гледишта статистичког закона показује значајне девијације од предвиђених вредности. Следећа формула (3) тродимензионалне Максвелове дистрибуције честица између две тачке $M_x(x, t)$ и $M_\xi(\xi, t)$ у бесконачном простору задовољава једначину.

У том смислу се може добити сличан резултат узимајући у обзир да брзина $|\vec{u} - \vec{u}'|$ мења растојање $|x - \xi|$ између две тачке $M_x(x, t)$ и $M_\xi(\xi, t)$ по јединици времена која се може одредити следећом формулом

$$|\vec{u} - \vec{u}'| = \frac{|x - \xi|}{t}.$$

Функција Максвелове дистрибуције за брзину честица дефинише се следећом формулом

$$\left(\frac{8T}{3m}\right)^{3/2} e^{-\frac{3\pi m(\vec{u} - \vec{u}')^2}{2T}}, \quad (1)$$

где је m маса честице, T температура тока, а \vec{u} је тродимензионална брзина честице.

$$\left(\frac{8T}{3m}\right)^{3/2} \cdot e^{-\frac{p(u-u')^2}{4}} = \frac{e^{-\frac{(x-\xi)^2}{4vt}}}{(2\sqrt{\pi vt})^3}, \quad (2)$$

где је $|x - \xi| = \sqrt{(x_1 - \xi_1)^2 + (x_2 - \xi_2)^2 + (x_3 - \xi_3)^2}$ растојање између две тачке $M_x(x, t)$ и $M_\xi(\xi, t)$.

Из класичне теорије формула математичке физике (3), је познато да је тродимензионална дистрибуција топлотне проводљивости у класичној математичкој физици која изражава дистрибуцију честица између две тачке $M_x(x, t)$ и $M_\xi(\xi, t)$ у бесконачном простору је фундаментално решење у Картезијанском координатном систему за једначину (3)

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} - \nu \Delta \vec{u} = 0. \quad (3)$$

Имајући у виду да вредност брзине преузима трајне серије вредности, за тачну тврдњу се морају поставити почетни услови и гранични услови за јединственост решења у једначини (3) са функцијом дистрибуције честица у једначини (2).

Овде је утврђено почетно стање

$$[\vec{u}(x, t)]_{t=0} = \vec{u}_0(x) \text{ над } R^3 \quad (4)$$

и гранично стање у бесконачном простору

$$|\vec{u}| = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \rightarrow 0 \text{ за } |x| = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2} \rightarrow \infty. \quad (5)$$

У сврху проучавања динамичке нестабилности, као и потраге за физичким изворима нестабилности, у ограниченим подручјима су неопходна нестационарна решења. У том смислу при раду са течностима проучавамо динамику нестабилности и трага се за физичким изворима нестабилности, те су потребна прелазна временско-зависна решења. Стандардно решење једначине (3) са почетним стањем (4) и граничним стањем (5) представљено је као интегрална репрезентација у конволуционом облику

$$\vec{u}(x, t) = \int_{R^3} \vec{u}_0(\xi) G_v(x - \xi, t) d\xi \quad (6)$$

за брзину честица $\vec{u}(x, t)$ у бесконачном простору R^3 .

5.2. Главни резултати

Једначина очувања импулса

Узмимо цилиндрични координатни систем и поједностављујућу претпоставку, да се ради о Њутновој и инкомпресибилној течности са константним термофизичким својствима. Нека $\Omega \{0 < r < r_0, 0 < \Phi < 2\pi, 0 < z < z_0\}$ буде отворени сет, означимо $\bar{\Omega} \{0 \leq r \leq r_0, 0 \leq \Phi \leq 2\pi, 0 \leq z \leq z_0\}$. Имамо претпоставку да је у обзир узет вектор брзине у тачки $M(r, \Phi, z, t)$ у односу на цилиндричну површину $\Omega_t = \Omega \times (0 < t < \infty)$ са означеним границама $\bar{\Omega}_T = \bar{\Omega} \times [0 \leq t < \infty)$.

За дефинисање непознатог вектора брзине убризавања узећемо у обзир једначину очувања импулса коју карактерише тродимензионални Навје-Стоксов проблем у следећем систему једначина:

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} + \left(\zeta + \frac{\nu}{3} \right) \nabla \operatorname{div} \vec{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta \vec{u} + \vec{f}(r, \phi, z, t) \text{ у домену } \Omega_t \quad (7)$$

са почетним условима

$$[\vec{u}(r, \phi, z, t)]_{t=0} = \vec{u}_0(r, \phi, z) \text{ у } \Omega \quad (8)$$

$$\left[\frac{\partial \vec{u}}{\partial z} - h_1 \vec{u}\right]_{z=0} = 0, \left[\frac{\partial \vec{u}}{\partial z} - h_2 \vec{u}\right]_{z=l} = 0, \left[\frac{\partial \vec{u}}{\partial r} - h_3 \vec{u}\right]_{r=r_0} = 0, \quad (9)$$

где је

$$\vec{u}(r, \phi, z, t) = u_1(r, \phi, z, t)\vec{i} + u_2(r, \phi, z, t)\vec{j} + u_3(r, \phi, z, t)\vec{k}$$

непознати вектор брзине убризгавања, а

$$\vec{f}(r, \phi, z, t) = f_1(r, \phi, z, t)\vec{i} + f_2(r, \phi, z, t)\vec{j} + f_3(r, \phi, z, t)\vec{k}$$

је позната векторска функција спољашње силе (Лоренцова, гравитациона и остале силе), ν је кинематичка вискозност, а $\rho = \rho(r, \phi, z, t)$ је непозната густина. Где имамо да симбол Δ означава тродимензионални функционални нагиб, симбол ∇ означава тродимензионални Лапласов оператор. ζ је вискозитет запремине. Уопштено, у обзир се узима посебан случај где су ν фиксно дати параметри који се могу дефинисати у било којим тачкама.

5.3. Конвективна једначина преноса топлоте масе

Познато је да конвективну једначину преноса топлоте масе карактерише тродимензионални проблем преноса топлоте масе у следећем систему једначина:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \text{grad} T = a^2 \Delta T \text{ у домену } \Omega_T \quad (10)$$

$$[T(r, \phi, z, t)]_{t=0} = T_0(r, \phi, z) \quad (11)$$

$$\left[\frac{\partial T}{\partial z} - h_1 T\right]_{z=0} = 0, \left[\frac{\partial T}{\partial z} - h_2 T\right]_{z=l} = 0, \left[\frac{\partial T}{\partial r} - h_3 T\right]_{r=r_0} = 0, \quad (12)$$

h_1, h_2, h_3 су познате позитивне константе.

5.4. Вектор брзине убризгавања

У наставку дисертације анализирамо тродимензионални компресибилни Навје-Стоксов проблем који нам пружа прилику да представимо неколико алата за дефинисање непознате брзине убризгавања. У том погледу за дефинисање непознате брзине убризгавања употребљавамо Навје-Стоксову једначину (7) која је представљена следећом формулом:

$$\frac{\partial \vec{u}(x,t)}{\partial t} - \nu \Delta \vec{u}(x,t) - 2\vec{f}(x,t) = -grad \left[\frac{p(x,t)}{\rho} + \frac{1}{2} \vec{u}^2(x,t) + \left(\zeta + \frac{\nu}{3} \right) div \vec{u} + \Phi(x,t) \right], \quad (16)$$

где је:

$$grad \Phi(x,t) = -\vec{f}(x,t) + [\vec{u} \times rot \vec{u}] \quad (17)$$

Овде израз $div[\vec{u} \times rot \vec{u}]$ демонстрира природу нестабилности тока која ће утицати на енергију. Овде имамо прелаз из ламинарног у турбулентни ток који се дешава управо као последица губитка стабилности. У том смислу, управо је главни задатак овог истраживања да се ослободи енергија при којој се ова нестабилност јавља.

Када се примени оператер ротора долази до математичког проблема за дефинисање непознате брзине убризгавања

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} - \nu \Delta \vec{u} = 2\vec{f} \quad (18)$$

са почетним стањем

$$\vec{u}|_{t=0} = \vec{u}_0(r, \phi, z) \quad (19)$$

и граничним стањима

$$\left[\frac{\partial \vec{u}}{\partial z} - h_1 \vec{u} \right]_{z=0} = 0, \left[\frac{\partial \vec{u}}{\partial z} - h_2 \vec{u} \right]_{z=l} = 0, \left[\frac{\partial \vec{u}}{\partial r} - h_3 \vec{u} \right]_{r=r_0} = 0. \quad (20)$$

Сада употребом Лапласових, бесконачно Фуријеових и Ханкелових трансформација пронађено је решење проблема (18, 19) које је садржано у следећој интегралној формули

$$\vec{u} = \int_{\Omega} \vec{u}_0(r', \phi', z') G_v(r, \phi, z, r', \phi', z', t) dr' d\phi' dz' + 2 \int_0^t d\tau \int_{\Omega} \vec{f}(r', \phi', z', \tau) G_v(r, \phi, z, r', \phi', z', t - \tau) dr' d\phi' dz' \quad (21)$$

овде је $G_v(r, \phi, z, r', \phi', z', t)$ тродимензионална функција дистрибуције у цилиндричном координатном систему за цилиндрични домен која може бити представљена следећим формулама:

$$G_v(r, \phi, z, r', \phi', z', t) = \frac{4}{r_0^2 \pi} \sum_{m,n,k=0}^{\infty}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{e^{-v \left(\left[\frac{\mu_m^{(n)}}{r_0} \right]^2 + v_m^2 \right) t} J_n \left(\frac{\mu_m^{(n)} r_l}{r_0} \right) J_n \left(\frac{\mu_m^{(n)} r}{r_0} \right) \sin(v_m z_l + z_m) \sin(v_m z + z_m) \sin n \phi^l \sin n \phi}{\|R_{m,n}\|^2} \\
& + \frac{4}{r_0^2 \pi \varepsilon_n} \sum_{m,n,k=0}^{\infty} \\
& \frac{e^{-v \left(\left[\frac{\mu_m^{(n)}}{r_0} \right]^2 + v_m^2 \right) t} J_n \left(\frac{\mu_m^{(n)} r_l}{r_0} \right) J_n \left(\frac{\mu_m^{(n)} r}{r_0} \right) \sin(v_m z_l + z_m) \sin(v_m z + z_m) \cos n \phi^l \cos n \phi}{\|R_{m,n}\|^2}
\end{aligned}$$

$$m, n, k = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad (22)$$

$$J_n(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m \left(\frac{1}{2x} \right)^{2m+1}}{m! \Gamma(m+n+1)} \text{ је Беселова функција првог реда,} \quad (23)$$

где је $x, n \in R$

$\mu_m^{(n)}$ – m ред решења за следећу једначину

$$\mu J'_n(\mu) + r_0 h_3 J_n(\mu) = 0 \text{ са стањем } \mu_k^{(n)^2} + r_0^2 h_3^2 - n^2 > 0. \quad (24)$$

v_m су позитивна решења за трансцендентну једначину

$$ctg v_m l = \frac{v_m^2 - h_1 h_2}{v_m (h_1 + h_2)}, \quad \lambda_m = \text{artg} \frac{v_m}{h_3}$$

$$\|R_{m,n}\|^2 = \left\{ \left[J'_n \left(\mu_m^{(n)} \right) \right]^2 \left[l + \frac{(h_1 h_2 + v_m^2)(h_1 + h_2)}{(h_1^2 + v_m^2)(h_2^2 + v_m^2)} \right] \right\} \left[1 + \frac{r_0^2 h_3^2 - n^2}{\mu_k^{(n)^2}} \right] \text{ је Беселова норма.}$$

Максвелова функција дистрибуције $G(r, \phi, z, r', \phi', z', t)$ (зелена функција) има следеће процене

$$|G_v(r, \phi, z, r', \phi', z', t)|$$

$$\leq \begin{cases} \frac{e^{\frac{(r \cos \phi - r' \cos \phi')^2 + (r \sin \phi - r' \sin \phi')^2 + (z - z')^2}{4vt}}}{(2\sqrt{\pi vt})^3} & \text{када је } x \in \Omega, t > 0 \\ 0 & \text{када је } x \notin \Omega, t < 0 \end{cases}$$

За све $r, \phi, z, r', \phi', z', t > 0$, и константе $C_{k,s}, c_{k,s} > 0$ имаћемо следећу процену

$$\partial_x^k \partial_t^s |G_v(r, \phi, z, r', \phi', z', t)|$$

$$\leq \begin{cases} C_{k,s} \frac{e^{-C_{k,s}} \frac{(r \cos \phi - r' / \cos \phi')^2 + (r \sin \phi - r' / \sin \phi')^2 + (z - z')^2}{4vt}}{(2\sqrt{\pi vt})^{k+2s+1}} & \text{када је } x \in \Omega, t > 0 \\ 0 & \text{када је } x \notin \Omega, t < 0 \end{cases}$$

Овим смо вектор брзине убрзгавања дефинисали формулом (21).

5.5. Конвективна једначина преноса топлоте масе: температура топљења

У наставку приступамо проучавању тродимензионалног проблема преноса топлоте масе ради дефинисања непознате температуре топљења. У том контексту а за дефинисање температуре топљења у обзир узимамо проблем преноса топлоте масе (25, 26) који се једноставно може представити следећом формулом:

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \alpha^2 \Delta T = u_1 \frac{\partial T}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial T}{\partial x_2} + u_3 \frac{\partial T}{\partial x_3}, \quad (25)$$

$$[T(r, \phi, z, t)]_{t=0} = T_0(r, \phi, z) \quad (26)$$

са граничним стањем

$$\left[\frac{\partial T}{\partial z} - h_1 T \right]_{z=0} = 0, \left[\frac{\partial T}{\partial z} - h_2 T \right]_{z=l} = 0, \left[\frac{\partial T}{\partial r} - h_3 T \right]_{r=r_0} = 0 \quad (27)$$

Важно је нагласити да дате познате позитивне константе h_1, h_2, h_3 могу бити различите од проблема (18, 19).

Само решење проблема (25, 26) представљамо у следећој формули:

$$T(x, t) - \int_0^t d\tau \int_{\Omega^3} T(\xi, \tau) K(x, \xi, t, \tau) d\xi = \int_{\Omega} T_0(\xi) G_{\alpha^2}(x - \xi, t - \tau) d\xi = 0,$$

где је (28)

$$K(x, \xi, t, \tau) = \left[u_1(\xi, \tau) \frac{\partial G_{\alpha^2}(x - \xi, t - \tau)}{\partial \xi_1} + u_2(\xi, \tau) \frac{\partial G_{\alpha^2}(x - \xi, t - \tau)}{\partial \xi_2} + u_3(\xi, \tau) \frac{\partial G_{\alpha^2}(x - \xi, t - \tau)}{\partial \xi_3} \right], \text{ где је } \begin{cases} x_1 = r \cos \phi \\ x_2 = r \sin \phi \\ x_3 = z \end{cases}$$

Користећи оператор $I + Z$ $Z[\cdot] = \int_0^t d\tau \int_{\Omega} K(x, \xi, t, \tau) [\cdot] d\xi$, оператор јединице I подвргнут је Волтера Фредхолмовој интегралној једначини:

$$T(x, t) + \int_0^t d\tau \int_{\Omega} T(\xi, \tau) K^*(x, \xi, t, \tau) d\xi = \int_{\Omega} T_0(\xi) G_{a^2}^*(x - \xi, t - \tau) d\xi, \quad (29)$$

где је:

$$K^*(x, \xi, t, \tau) = \int_{\tau}^t d\tau_1 \int_{\Omega} K(x, \xi_1, t, \tau_1) K(\xi, \xi_1, \tau_1, \tau) d\xi_1$$

$$K^{*(1)}(x, \xi, t, \tau) = \int_{\tau}^t d\tau_1 \int_{\Omega} K^*(x, \xi_1, t, \tau_1) K^*(\xi, \xi_1, \tau_1, \tau) d\xi_1$$

$$G_{a^2}^*(x, \xi, t, \tau) = \int_{\tau}^t d\tau_1 \int_{\Omega} K(x, \xi_1, t, \tau_1) G_{\Omega}(\xi - \xi_1, \tau - \tau_1) d\xi_1$$

Само решење Волтера Фредхолмове интегралне једначине (28) представљамо следећом формулом

$$T(x, t) = \int_0^t d\tau \int_{\Omega} T_0(\xi, \tau) R_T(x, \xi, t, \tau) d\xi + \int_{\Omega} T_0(\xi) G_{a^2}^*(x - \xi, t) d\xi \quad (30)$$

$$R_T(x, \xi, t, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} K^{*(n+1)}(x, \xi, t, \tau),$$

$R_T(x, \xi, t, \tau)$ је разложена Волтера Фредхолмова интегрална једначина (35).

Овде су понављања без језгра пронађена у формулама:

$$K^{*(n)}(x, \xi, t, \tau) = \int_{\tau}^t d\tau_1 \int_{\Omega} K^*(x, \xi_1, t, \tau_1) K^{*(n-1)}(\xi, \xi_1, \tau_1, \tau) d\xi_1,$$

$$K^{*(n+1)}(x, \xi, t, \tau) = \int_{\tau}^t d\tau_1 \int_{R^3} K^*(x, \xi_1, t, \tau_1) K^{*(n)}(\xi, \xi_1, \tau_1, \tau) d\xi_1$$

Понављања језгра имају следећу процену:

$$|K^{*(n+1)}(x, \xi, t, \tau)| \leq M^{n+1} \frac{(t-\tau)^n}{n!},$$

ово осигурава примену метода узастопне апроксимације за Волтера Фредхолмову интегралну једначину (29).

5.6. Једначина конвективне дифузије: Топлотна густина

Најпре одређујемо молекуларни дифузиони коефицијент користећи следећу формулу

$$D = D_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right). \quad (31)$$

Где је E_a активациона енергија, док је R универзална константа, а T предстваља температуру. Овде за дефинисање непознате густине анализирамо тродимензионални проблем конвективне дифузије који може бити изражен формулом:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{u} \text{grad} \rho = D \Delta \rho, \text{ у } \Omega_T \quad (32)$$

са почетним стањем

$$[\rho(x, t)]_{t=0} = \rho_0(x) \text{ на } \Omega, \quad (33)$$

$$\left[\frac{\partial \rho}{\partial z} - h_1 \rho \right]_{z=0} = 0, \left[\frac{\partial \rho}{\partial z} + h_2 \rho \right]_{z=l} = 0, \left[\frac{\partial \rho}{\partial r} + h_3 \rho \right]_{r=r_0} = 0. \quad (34)$$

Овде је D коефицијент молекуларне дифузије.

Према томе,

$$x_1 = r \cos \varphi$$

$$x_2 = r \sin \varphi \quad r = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}.$$

$$x_3 = z$$

Само решење за проблеме једначина (32-34) представљено је у формули

$$K^*(x, \xi, t, \tau) = \int_{\tau}^t d\tau_1 \int_{\Omega} K(x, \xi_1, t, \tau_1) K(\xi, \xi_1, \tau_1, \tau) d\xi_1$$

$$G_D^*(x, \xi, t, \tau) = \int_{\tau}^t d\tau_1 \int_{R^3} K(x, \xi_1, t, \tau_1) G_D(\xi - \xi_1, \tau - \tau_1) d\xi_1$$

$$\rho(x, t) = \int_0^t d\tau \int_{\Omega} \left\{ u_1(\xi, \tau) \frac{\partial \rho(\xi, \tau)}{\partial \xi_1} + u_2(\xi, \tau) \frac{\partial \rho(\xi, \tau)}{\partial \xi_2} + \right. \\ \left. + u_3(\xi, \tau) \frac{\partial \rho(\xi, \tau)}{\partial \xi_3} \right\} G_D(x - \xi, t - \tau) d\xi$$

$$\rho(x, t) = \int_0^t d\tau \int_{\Omega} \rho(\xi, \tau) \left[u_1(\xi, \tau) \frac{\partial G_D(x - \xi, t - \tau)}{\partial \xi_1} + u_2(\xi, \tau) \frac{\partial G_D(x - \xi, t - \tau)}{\partial \xi_2} + \right. \\ \left. + u_3(\xi, \tau) \frac{\partial G_D(x - \xi, t - \tau)}{\partial \xi_3} \right] d\xi$$

$$\rho(x, t) = - \int_0^t d\tau \int_{\Omega} \rho(\xi, \tau) K(x, \xi, t, \tau) d\xi + \int_{R^3} \rho_0(\xi) G_D(x - \xi, t - \tau) d\xi$$

Решење Волтера Фредхолмове интегралне једначине (35) представљено је у наредној формули:

$$K(x, \xi, t, \tau) = \left[u_1(\xi, \tau) \frac{\partial G_D(x-\xi, t-\tau)}{\partial \xi_1} + u_2(\xi, \tau) \frac{\partial G_D(x-\xi, t-\tau)}{\partial \xi_2} + u_3(\xi, \tau) \frac{\partial G_D(x-\xi, t-\tau)}{\partial \xi_3} \right]$$

$$\rho(x, t) - \int_0^t d\tau \int_{R^3} \rho(\xi, \tau) K(x, \xi, t, \tau) d\xi = \int_{R^3} \rho_0(\xi) G_D(x - \xi, t - \tau) d\xi = 0$$

Када се искористи оператор $I + Z$ $Z[\cdot] = \int_0^t d\tau \int_{\Omega} K(x, \xi, t, \tau) [\cdot] d\xi$, I оператор јединице прима Волтера Фредхолмову интегралну једначину:

$$\rho(x, t) + \int_0^t d\tau \int_{\Omega} \rho(\xi, \tau) K^*(x, \xi, t, \tau) d\xi = \int_{\Omega} \rho_0(\xi) G_D^*(x - \xi, t - \tau) d\xi, \quad (35)$$

где је

$$\rho(x, t) = \int_0^t d\tau \int_{R^3} \rho_0(\xi, \tau) R_D(x, \xi, t, \tau) d\xi + \int_{R^3} \rho_0(\xi) G_D^*(x - \xi, t - \tau) d\xi \quad (36)$$

Што представља разложену Волтерову Фредхолмову интегралну једначину (35)

$$R_D(x, \xi, t, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} K^{*(n+1)}(x, \xi, t, \tau)$$

$$K^{*(n+1)}(x, \xi, t, \tau) = \int_{\tau}^t d\tau_1 \int_{R^3} K^*(x, \xi_1, t, \tau_1) K^{*(n)}(\xi, \xi_1, \tau_1, \tau) d\xi_1$$

Сада се понављања без језгра могу наћи помоћу формула

$$K^{*(1)}(x, \xi, t, \tau) = \int_{\tau}^t d\tau_1 \int_{\Omega} K^*(x, \xi_1, t, \tau_1) K^*(\xi, \xi_1, \tau_1, \tau) d\xi_1$$

$$K^{*(n+1)}(x, \xi, t, \tau) = \int_{\tau}^t d\tau_1 \int_{R^3} K^*(x, \xi_1, t, \tau_1) K^{*(n)}(\xi, \xi_1, \tau_1, \tau) d\xi_1$$

Где понављања језгра имају следећу процену

$$|K^{*(n+1)}(x, \xi, t, \tau)| \leq M^{n+1} \frac{(t-\tau)^n}{n!},$$

чиме се обезбеђује примена метода узастопне апроксимације за Волтер Фредхолмову интегралну једначину (30).

5.7. Очување енергије: обрада притиска

Када размотримо једначину (16)

$$\begin{aligned} \frac{\partial \vec{u}(x, t)}{\partial t} - \nu \Delta \vec{u}(x, t) - 2\vec{f}(x, t) = \\ -grad \left[\frac{p(x, t)}{\rho} + \frac{1}{2} \vec{u}^2(x, t) + \left(\zeta + \frac{\nu}{3} \right) div \vec{u} + \Phi(x, t) \right] \end{aligned} \quad (37)$$

$$\text{grad}\Phi(x, t) = -\vec{f}(x, t) + [\vec{u} \times \text{rot}\vec{u}].$$

Користећи једначину

$$\frac{\partial \vec{u}(\rho, \phi, z, t)}{\partial t} - \nu \Delta \vec{u}(\rho, \phi, z, t) - 2\vec{f}(\rho, \phi, z, t) = 0, \quad (38)$$

добивамо

$$\text{grad} \left[\frac{p(\rho, \phi, z, t)}{\rho} + \frac{1}{2} \vec{u}^2(\rho, \phi, z, t) + \left(\zeta + \frac{\nu}{3} \right) \text{div}\vec{u} + \Phi(\rho, \phi, z, t) \right] = 0 \quad (39)$$

Применом оператора дивергенције за (17)

$$\Delta \left[\frac{p(\rho, \phi, z, t)}{\rho} + \frac{1}{2} \vec{u}^2(\rho, \phi, z, t) + \left(\zeta + \frac{\nu}{3} \right) \text{div}\vec{u} + \Phi(\rho, \phi, z, t) \right] = 0$$

$$\Delta = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \text{ је Лапласов оператор.}$$

$$\begin{aligned} \Phi(\rho, \phi, z, t) = & \text{div}f(\rho, \phi, z, t) * g(\rho, \phi, z, r', \phi', z') \\ & - \text{div}[\vec{u} \times \text{rot}\vec{u}] * g(\rho, \phi, z, r', \phi', z') \end{aligned}$$

$$g(r, \phi, z, r', \phi', z') = G_\nu(r, \phi, z, r', \phi', z, t') \Big|_{t=0}.$$

У цилиндричном домену имамо да је представљен тродимензионални закон очувања енергије за јединицу масе у формули

$$E_B + E_K + E_P + E_T = 0, \quad (40)$$

овде је $E_B \frac{p(x, t)}{\rho}$ енергија која повезује, док је $E_K \frac{1}{2} \vec{u}^2(x, t)$ кинетичка енергија, а $E_P = \text{div}\vec{f}(r', \phi', z', t) * g(r, \phi, z, r', \phi', z')$ представља потенцијалну енергију.

$E_T = \{ \text{div}[\vec{u} \times \text{rot}\vec{u}] + \left(\zeta + \frac{\nu}{3} \right) \text{div}\vec{u} \} * g(r, \phi, z, r', \phi', z')$ је енергија случајног Брауновог кретања. У претходној једначини симбол * изражава конволуцију између двеју функција

$$\begin{aligned} & \text{div}\vec{f}(r', \phi', z', t) * g(r, \phi, z, r', \phi', z') \\ & = \iiint_{\Omega} \text{div}\vec{f}(r', \phi', z', t) g(r, \phi, z, r', \phi', z') dr' d\phi' dz \\ & \{ \text{div}[\vec{u}(\xi, t) \times \text{rot}\vec{u}(\xi, t)] + \left(\zeta + \frac{\nu}{3} \right) \text{div}\vec{u} \} * g(x) \end{aligned}$$

$$= \iiint_{\Omega} \left\{ \operatorname{div}[\vec{u}(\xi, t) \times \operatorname{rot}\vec{u}(\xi, t)] + \left(\zeta + \frac{\nu}{3} \right) \operatorname{div}\vec{u} \right\} g(x - \xi) d\xi.$$

Теорема 1

Ако је $\vec{u}_0(x)$, $T_0(x)$, $\rho_0(x) \in C^{(1)}(\Omega)$, $\vec{f}(x, t) \in C(\Omega_T)$ може бити представљена класичним решењем $\vec{u}(x, t) \in C^{(2,1)}(\Omega_T) \cap C^{(1,0)}(\bar{\Omega}_T)$ где $\bar{\Omega}_T = \bar{\Omega} \times (0 \leq t \leq \infty)$ који су дати формулом:

$$\vec{u} = \int_{\Omega} \vec{u}_0(\xi) G_v(x - \xi, t) d\xi + 2 \int_0^t d\tau \int_{\Omega} \vec{f}(\xi, \tau) G_v(x - \xi, t - \tau) d\xi. \quad (41)$$

Дистрибуција температуре представљена је формулом:

$$T(x, t) = \int_0^t d\tau \int_{\Omega} T_0(\xi, \tau) R(x, \xi, t, \tau) d\xi + \int_{\Omega} T_0(\xi) G_{a^2}^*(x - \xi, t) d\xi. \quad (42)$$

Густину протока честица представљамо следећом формулом:

$$\rho(x, t) = \int_0^t d\tau \int_{\Omega} \rho_0(\xi, \tau) R_{\rho}(x, \xi, t, \tau) d\xi + \int_{\Omega} \rho_0(\xi) G_D^*(x - \xi, t - \tau) d\xi. \quad (43)$$

Обраду притиска проналазимо из тродимензионалног закона очувања енергије за јединицу масе

$$\begin{aligned} \frac{p(x, t)}{\rho} + \frac{1}{2} \vec{u}^2(x, t) + \operatorname{div} f(x, t) * g(x) \\ + \operatorname{div}[\vec{u} \times \operatorname{rot}\vec{u}] * g(x) + \left(\zeta + \frac{\nu}{3} \right) \operatorname{div}\vec{u} * g(x) = 0 \end{aligned} \quad (44)$$

Резултати истраживања овог дела дисертације предлажу оригиналан приступ заснован на стандардној теорији математичке физике за анализу идеалног кретања гаса у турбулентном струјању. За потребе овог истраживања формирана је математичка апаратура која омогућује проучавање неидеалних гасова у турбулентним условима. Посебно је значајан теоретски приступ који се ослања на примену математичких модела за процес пластификације, заснованих на законима очувања масе, импулса и енергије, као и на карактеристикама самог материјала. Могуће је дефинисати нетипичне услове не само за брзину, већ и за густину и температуру, што омогућује реалну симулацију нестабилности у тродимензионалном турбулентном току.

Постојање, јединственост и регуларност решења за очување импулса, конвективни пренос топлоте и масе, као и конвективне дифузионе једначине, пружају нови приступ за

одређивање критичних термодинамичких параметара процеса убризгавања у калупе – попут температуре топљења, поља брзине и расподеле притиска, укључујући његову контролу и оптимизацију. Посебно се издваја функција Максвелове дистрибуције брзине честица, која омогућује извођење дивергенције и ротационог понашања физичких простор-временских компоненти турбуленције. На тај начин се математички показује да конзервативно поље сила производи дисконтинуиране флукуације које имају простор-времено зависан утицај на густину и вектор брзине. Функција обраде притиска омогућује интерпретацију нестабилности и нелинеарних интеракција, што се може повезати са распадом таласног спектра и сатурацијом нелинеарне интеракције у турбулентним ефектима струјања. Тродимензионални закон очувања енергије регулише притисак, који заузврат утиче на вектор брзине убризгавања и температуру топљења композитних материјала.

Оригинални резултати овог истраживања потврђују природну повезаност појединих термодинамичких карактеристика у процесу убризгавања у калупе. Поред тога, откривене су скривене зависности између вектора брзине и расподеле притиска, које изазивају разноврсне турбулентне ефекте у складу са законом очувања енергије. Представљени математички модел укључује термодинамичке конвективне и дифузивне параметре, као што су топлотна густина, брзина убризгавања, обрада притиска и температура топљења. За потребе истраживања дефинисани су почетни и гранични услови, који омогућавају одређивање критичних параметара као што су температура топљења, брзина убризгавања и топлотна густина, што даје основу за прецизну контролу обраде притиска. Применом метода израчунавања вишеструких интеграла, координатних мрежа и квадратурних формула у цилиндричном домену, одређени су оптимални параметри и релевантни коефицијенти, који могу послужити као темељ будућих истраживања. На крају, закључује се да уколико турбуленција постоји у природи, онда мора постојати и њен класичан исправан исказ, који обезбеђује јединствено и постојеће решење у складу са принципима математичког моделовања.

Резултати математичког модела представљени у овом поглављу пружају неопходну основу за оптимизацију процеса која је предмет поглавља 6. Прецизно дефинисане расподеле брзине, температуре и густине полимера омогућавају идентификацију критичних параметара процеса, као што су брзина убризгавања, време пластификације и расподела топлоте у калупу. Управо ови параметри чине окосницу техничко-економске оптимизације, јер њихово

правилно регулисање може минимизовати губитке енергије, побољшати хомогеност материјала и обезбедити конзистентан квалитет финалног производа. На тај начин, математички модел топљења композита метал–полимер не представља само теоријски оквир, већ директно води ка примени оптимизационих техника које ће бити разрађене у следећем поглављу.

6. КОНВЕРГЕНЦИЈА КАРАКТЕРИСТИКА SHSM ОПТИМИЗАЦИОНОГ МОДЕЛА ЗА УНИФОРМНО КОНВЕКСНЕ ПРОБЛЕМЕ

Разматрање различитих оптимизационих техника у претходним поглављима, укључујући класичне AGD методе и њихове хибридне варијанте, поставило је основу за дубљу анализу стабилности и конвергенције у оквиру специфичних класа оптимизационих проблема. Поглавље 6 наставља ову логику, фокусирајући се на недавно уведена s-хибридну убрзану градијентну методу (SHSM) и њену примену на униформно конвексне функције. Овим се успоставља директна веза између теоријских принципа оптимизационих метода представљених раније и њихове формалне верификације у специфичним условима конвексности, чиме се обезбеђује континуитет истраживања и постепено увођење у сложеније концепте који следе у анализи SHSM методе.

У овом делу дисертације разматра се недавно уведена s-хибридна техника за извођење оптимизационих модела, са посебним фокусом на њену примену код униформно конвексних проблема. Наша анализа обухвата доказивање конвергенције предложене s-хибридне убрзане градијентне методе (SHSM) када се примењује на скуп униформно конвексних функција. Проширивањем ових студија, настојимо да утврдимо стабилност и ефикасност методе, као и њену способност да обезбеди прецизна и поуздана решења за оптимизационе проблеме са конвексним карактеристикама [133].

6.1. Посебне класе неограничених оптимизационих метода

Општи неограничени оптимизациони проблем може се поставити као:

$$\text{opt } f(x), x \in R^n, \tag{1.1}$$

где „opt” означава оптималну вредност циљне функције $f: R^n \rightarrow R$. Веома често разматрамо овај проблем као:

$$\text{min } f(x), x \in R^n, \tag{1.2}$$

што се лако може претворити у проблем максимизације. Проблем (1.2) можемо итеративно решавати помоћу:

$$f(x_{k+1}) = f(x_k) + t_k d_k, \quad (1.3)$$

где је x_{k+1} следећа итеративна вредност, x_k је тренутна вредност, t_k је дужина итеративног корака, док d_k представља вектор правца.

Постоје разне врсте итеративних метода (1.3). У овом раду фокусирамо се на хибридне убрзане квази-Њутнове типове оптимизационих метода.

Класа убрзаних градијентних метода, тј. AGD методе, уведена је у (Станимировић et al., 2015)[132]. Методе ове класе имају следећи итеративни облик:

$$x_{k+1} = x_k - \gamma_k^{-1} t_k g_k. \quad (1.4)$$

У (1.4) параметар γ_k је скаларна апроксимација Хесијана циљне функције. Такође неке касније објављене студије на ову тему, показале су да овај параметар индукује убрзане карактеристике релевантне AGD методе, што се даље огледа у бржој конвергенцији и генерално бољим перформансама.

Многе минимизационе шеме су генерисане на основу AGD концепта [110]. Вођени идејом да унапреде карактеристике конвергенције и перформансе, неколико аутора је увело хибридни убрзани приступ у генерисању оптимизационих метода [132]. Мотивација за извођење ове класе метода потекла је из добро познатих итеративних правила предложених од стране Мана, Пикара и Ишикаве.

Касније је предложен трочлани итеративни процес

$$\begin{cases} x_1 = x \in R, \\ x_{k+1} = T y_k, \\ \gamma_k = (1 - a_k)x_k + \alpha_k T x_k, \quad k \in N \end{cases} \quad (1.5)$$

који конвергира брже од процеса представљених од стране Мана, Пикара и Ишикаве. У (1.5) $T: \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}$ представља мапирање дефинисано на непразном конвексном подскупу \mathbb{C} нормираног простора \mathbb{E} , а параметар a_k задовољава $a_k \in (0,1)$. Претходно истраживање мотивисало је ауторе у (Петровић, 2018) да изведу прву примену модела (1.5) на убрзану градијентну SM методу [112]. Ова примена резултирала је, тако званом хибридном SM методом или, укратко, HSM методом:

$$x_{k+1} = x_k - (\alpha_k + 1)t_k \gamma_k^{-1} g_k, \quad (1.6)$$

где је $\alpha_k \in (0,1)$. Процедура повратног тражења (Backtracking) коришћена у HSM методи за добијање вредности дужине итеративног корака убрзо је побољшана. Идеја је изазвала многе ефикасне хибридне технике. Аутори Петровић и Ракочевић (2022) су потврдили да Каново хибридно правило доводи до унапређења профила перформанси дефинисаног хибридног модела у поређењу са његовом нехибридном верзијом [111]. Кроз предочену компаративну анализу аутори су закључили да је овај хибридни концепт оправдан избор оптимизационог модела у решавању многих неограничених минимизационих проблема.

У наставку проширујемо истраживање представљено у (Петровић, 2024) доказујући особине конвергенције SHSM методе на скупу униформно конвексних функција [113].

6.2. Конвергенција s-хибридне убрзане градијентне методе за униформно конвексне функције

Аутори су предложили нову хибридную технику, s-хибридную SM методу или SHSM методу, генерисану следећим правилом:

$$x_{n+1} = x_n - (1 + \alpha_n - \alpha_n^2)\gamma_n^{-1} - 1t_n g_n. \quad (2.1)$$

У (2.1), корекциони параметар $\alpha_n \in (0,1)$, а позитивни фактор убрзања израчунава се као:

$$\gamma_{k+1} \equiv \gamma_{k+1}^{shsm} = 2\gamma_k \frac{\gamma_k(f(x_{k+1})-f(x_k))+(1+\alpha_k-\alpha_k^2)t_k\|g_k\|^2}{(1+\alpha_k-\alpha_k^2)^2 t_k^2\|g_k\|^2} \quad (2.2)$$

Алгоритам SHSM методе је дат у наставку.

Алгоритам 2.1: SHSM алгоритам дефинисан са (2.1) и (2.2)

1. Функција $f(x)$, $\{\alpha_n\} \subset (0,1)$ дефинисана са (2.1), почетна тачка x_0 се $\in \text{dom}(f)$.
2. Постави $k = 0$ и израчунај $f(x_0)$, $g_0 = \nabla f(x_0)$, постави $\gamma_0 = 1$.
3. Провери критеријуме заустављања; ако су критеријуми испуњени, заустави алгоритам; у супротном, пређи на следећи корак.
4. Примени Алгоритам 2.2: Израчунај вредност величине корака $t_k \in (0,1]$ узимајући $d_k = -\gamma_k^{-1}g_k$.
5. Одреди $x_{k+1} = x_n - (1 + \alpha_n - \alpha_n^2)\gamma_n^{-1}t_n g_n$, $f(x_{k+1})$ и $g_{k+1} = \nabla f(x_{k+1})$.

6. Израчунај γ_{k+1}^{shsm} , апроксимацију Хесијана функције f у тачки x_{k+1} користећи (2.2).
7. Ако је $\gamma_{k+1}^{shsm} < 0$, узми $\gamma_{k+1}^{shsm} = 1$.
8. $k := k + 1$, пређи на корак 2.
9. Врати x_{k+1} и $f(x_{k+1})$.

Алгоритам 2.2: Повратно тражење са почетном вредношћу $t = \frac{1}{1+\alpha_{k+1}-\alpha_{k+1}^2}$

1. Циљна функција $f(x)$, правац претраге d_k у тачки x_k и бројеви $0 < \sigma < 0.5$ и $\beta \in (\sigma, 1)$.
2. $t = \frac{1}{1+\alpha_{k+1}-\alpha_{k+1}^2}$.
3. Док је $f(x_k + td_k) > f(x_k) + \sigma t g_k^T d_k$, узми $t := t\beta$.
4. Врати $t_k = t$.

Пропозиција 2.1 Нека је функција $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ два пута непрекидно диференцијабилна и униформно конвексна на \mathbb{R}^n . Тада су следеће две тврдње тачне:

1. Функција f има доњу границу на $L_0 = \{x \in \mathbb{R}^n | f(x) \leq f(x_0)\}$, где је $x_0 \in \mathbb{R}^n$ доступно.
2. Градијент g је Липшиц-непрекидан у отвореном конвексном скупу B који садржи L_0 , тј. постоји $L > 0$, тако да је

$$\|g(x) - g(y)\| \leq L \|x - y\|, \quad \forall x, y \in B.$$

Лема 2.1 Под претпоставкама Пропозиције 2.1, постоје бројеви $m, M \in \mathbb{R}$, такви да је

$$0 < m \leq 1 \leq M,$$

(2.3)

и функција $f(x)$ има јединствен минимизатор x^* и задовољава следеће неједнакости:

$$m \|y\|^2 \leq y^T \nabla^2 f(x) y \leq M \|y\|^2, \quad \forall x, y \in \mathbb{R}^n;$$

(2.4)

$$\frac{1}{2} m \|x - x^*\|^2 \leq f(x) - f(x^*) \leq \frac{1}{2} M \|x - x^*\|^2, \quad \forall x \in \mathbb{R}^n; \quad (2.5)$$

$$m \|x - y\|^2 \leq (g(x) - g(y))^T (x - y) \leq M \|x - y\|^2, \quad \forall x, y \in \mathbb{R}^n. \quad (2.6)$$

Лема 2.2 Процена итеративног смањења униформно конвексне и два пута непрекидно диференцијабилне циљне функције, на коју се примењује SHSM алгоритам, описана је следећом неједнакошћу:

$$f(x_k) - f(x_{k+1}) \geq \mu \|g_k\|^2, \quad (2.7)$$

где је

$$\mu = \min \left\{ \frac{\sigma(1+\alpha_k - \alpha_k^2)}{M}, \frac{\sigma\beta(1-\sigma)}{L} \right\}, \quad (2.8)$$

где су константе L и M дефинисане као у Пропозицији 2.1 и Леми 2.1, тј. $L > 0$ је Липшицова константа, $M \geq 1$ је константа таква да је $\gamma_k < M$ и $\alpha \in (1,2)$.

Теорема 2.1 Нека је функција f униформно конвексна функција дефинисана на \mathbb{R}^n . Тада, низ $\{x_k\}$ дефинисан алгоритмом SHSM методе конвергира линеарно ка свом решењу и

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \|g_n\| = 0. \quad (2.16)$$

При томе, вредност константе M дефинисане у Леми 2.1 је већа од $\sqrt{2}$.

Доказ: Чињеница да је униформно конвексна функција f опадајућа функција и да је она ограничена одозо доводи нас до следећег закључка:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} (f(x_k) - f(x_{k+1})) = 0. \quad (2.17)$$

У вези са релацијом у Леми 2.2 имамо да

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \|g_k\| = 0$$

Нека је x^* минимизатор функције f . Користећи ознаку $x^* = y$ у (2.6) и Cauchy–Schwartz неједнакост, добијамо за све $x \in \mathbb{R}^n$

$$m \|x - x^*\|^2 \leq \|g_k\| \leq M \|x - x^*\|^2. \quad (2.18)$$

Комбиновањем процена (2.3), (2.7), (2.8) и (2.18) добијамо следеће неједнакости:

$$\mu \|g_k\|^2 \geq \mu m^2 \|x - x^*\|^2 \geq 2\mu \frac{m^2}{M} (f(x_k) - f(x^*)) \xrightarrow{k \rightarrow \infty} 0 \quad (2.19)$$

Процене (2.19) директно имплицирају да:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \|x_k - x^*\| = 0.$$

У овом делу дисертације проширујемо студију фокусирајући се на скуп униформно конвексних функција. Под претпоставком да је циљна функција униформно конвексна,

доказали смо да је s-хибридна убрзана метода барем линеарно конвергентна, што указује на стабилност и поузданост овог приступа у решавању оптимизационих проблема. Додатно, под постављеним условима, проценили смо вредност итеративног смањења функције и показали да метод систематски приближава глобалном минимуму. Резултати овог истраживања отварају врата за даља испитивања различитих s-хибридних итерација, укључујући експерименте са нелинеарним и комплекснијим конвексним функцијама, као и могуће примене у практичним инжењерским и економским моделима. Ови налази пружају чврсту основу за дискусију о ефективности методе, њеној конвергенцији и потенцијалним правцима будућих истраживања.

Док је у овом поглављу доказана линеарна конвергенција SHSM методе и утврђена стабилност у решавању униформно конвексних оптимизационих проблема, наредно поглавље наставља са дискусијом применљивости овог приступа у практичним контекстима. Истражујући резултате експерименталних примена и поређења са другим хибридним техникама, поглавље 7 ће омогућити синтезу теоријских и практичних аспеката, наглашавајући ефективност SHSM методе, њену оптимизациону тачност и могућности имплементације у сложенијим економским и инжењерским моделима.

7. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Истраживање је започето прегледом обимне научне и стручне литературе из области рачунарско-математичких модела. Добијени резултати омогућили су потпуну или скоро потпуну потврду постављених научних хипотеза и циљева истраживања. Они показују да примена нових рачунарских алата и оригиналних математичких модела подстиче развој аналитичког размишљања, омогућава оптимизацију процеса и побољшава разумевање математичких концепата. Истовремено, испитанике оспособљава за ефикасно суочавање и решавање комплексних математичких проблема у реалним ситуацијама.

Дигитална трансформација, као и примена концепата Индустрија 4.0 и Индустрија 5.0, ИоТ технологија и OLAP система доприносе унапређењу квалитета живота, ефикаснијем пословању, повећању производности и конкурентности, као и стварању нових радних места и подстицању економског развоја. Ово се слаже са налазима које презентују Ohue, Yasuo & Takata (2025), које истичу растући значај интеграције ВИ и математичких модела у индустријским системима[103].

У поређењу са претходним истраживањима, резултати ове дисертације показују и одређене сличности и разлике. Наиме, као што истиче Chen, Cheng & He (2025) у својој систематској ревизији математичког моделирања у ланцима снабдевања, доминантне методе подржавају оптимизацију процеса уз примену аналитике података и ВИ-алата [32]. Наши резултати су у складу са тим трендом, али показују и специфичне резултате за српску привреду која има своје демографске и инфраструктурне услове.

Суштински значај ове дисертације лежи у њеној мултидисциплинарности, јер омогућава истовремено посматрање математичких модела, дигитализације и утицаја демографских фактора. Посебно је важно уочити да демографски параметри, као што су старост и образовање испитаника, не утичу свакако на усвајање дигиталних технологија у претпостављеном униформном смислу. То потврђују бројне студије: на пример, истраживање у Јужној Кореји показало је да код старијих одраслих (65+) образовање и самоперцепција дигиталних вештина значајно утичу на промену односа према дигиталним уређајима. Такође, рад који посматра факторе који утичу на дигиталну писменост код села међу старијима у Кини открива значајну корелацију између нивоа образовања и прихватања дигиталних активности. Поред тога, студија Универзитета која испитује факторе усвајања

дигиталног учења међу студентима показује да старосне групе и образовни ниво чине критичне предикторе у коришћењу ИКТ у учењу.

Ови налази подржавају нашу анализу: иако је дигитална трансформација снажан покретач иновација, демографска структура може створити варијације у могућности и начину њене примене. У контексту српске привреде, чести демографски изазови (на пример, разлике у образовању и старосним коортама) морају се узети у обзир у стратегијама дигиталне интеграције и обуке, како би се максимизовала инклузивност и ефикасност нових технологија.

Резултати истраживања докторске дисертације имају изузетан значај јер доприносе бољем разумевању и решавању конкретног проблема. Показују да се математичким моделом може добити јединствено решење проблема турбулентног струјања и обезбедити стабилност у оквиру такозваног „феномена транспорта“, без значајних губитака и уз избегавање бројних експеримената. Ово се постиже применом закона очувања енергије, који се може прецизно формулисати и изразити кроз одговарајуће математичке једначине.

Ова дисертација представља значајан допринос како научном знању, тако и теорији у области примене рачунарско-математичких модела у пракси, проширујући схватање сложених проблема и концепата кроз нов, оригиналан приступ примене. Очигледан научни допринос види се у синтези постојећих истраживања примене рачунарско-математичких модела и у пружању упоредног прегледа радова најпознатијих аутора савременог датума. Посебан допринос дисертације је и развој оригиналних математичких модела који омогућавају нови приступ решавању практичних и теоријских проблема. Како показују Ohue, Yasuo и Takata (2025), савремена истраживања се све више усмеравају ка интеграцији ВИ, математике и оптимизације, што ово истраживање директно потврђује [103].

Резултати истраживања имају и теоријске и практичне импликације. Теоријски, рад доприноси бољем разумевању односа између дигитализације, математичког моделирања и организационих процеса. Практично, резултати доприносе применљивости у пословању и за опште друштвено добро. Стручни допринос докторске дисертације огледа се у могућностима примене резултата и знања добијених овим истраживањем у конкретним процесима оптимизације. Развијени рачунарско-математички модели омогућавају ефикаснију и ефективнију реализацију оптимизационих процеса у односу на досадашње приступе, што је у складу са аналитичком ретроспективом из литературе [129].

У овој студији, добијени резултати у комбинацији са закључцима омогућили су прецизан одговор на постављена истраживачка питања, као и верификацију или одбацивање хипотеза. Могућа ограничења истраживања односе се на методе прикупљања података, обим узорка и избор скупова података. У раду су поштовани етички стандарди, а комуникација резултата истраживања представља значајну вредност за различите аудиторije.

У дисертацији су, на основу теоријске евалуације и истраживања у пракси, дати концизни одговори на постављена истраживачка питања: како дигитализација и концепти Индустије 4.0 (у новије време и Индустије 5.0) утичу на друштво у Републици Србији, на који начин ИоТ и паметни градови доприносе квалитету живота, и на који начин рачунарски алати и математички модели могу унапредити постојеће процесе. За ову анализу коришћена је адекватна методологија која обухвата квалитативне и квантитативне методе, укључујући статистичку обраду података, као и анализу релевантних извештаја о примени нових технологија, Индустије 4.0, Индустије 5.0, ИоТ-а и рачунарско-математичких модела у српским предузећима и пословним системима.

Најважнији и најрелевантнији резултати докторске дисертације огледају се у примени методологије нових рачунарско-математичких модела за оптимизацију пословања, са циљем унапређења пословних процеса. Ови резултати могу бити од значајне користи како теоретичарима, тако и практичарима који се баве овом тематиком, јер пружају конкретну примену у реалним пословним системима. Будућа истраживања могла би се усмерити на теме и проблеме који су у овом раду остали непознати или нерешени. Резултати истраживања указују на потребу даљег усавршавања фазе прикупљања података, посебно кроз унапређење упитника за прикупљање података из конкретних предузећа и компанија. То би подразумевало повећање релевантности питања у вези са применом ИТ технологија, специфичностима пословних система и употребом рачунарско-математичких модела. Значај овог истраживања у контексту општег знања и научног напретка огледа се и у потенцијалном смањењу трошкова пословања кроз ефикаснију оптимизацију процеса.

На основу приказаних резултата и закључака о примени рачунарско-математичких модела, јасно се уочава значај и применљивост развијених методологија за оптимизацију пословних процеса и анализу комплексних система. Ови налази омогућавају прецизнију и објективнију оцену утицаја дигитализације, Индустије 4.0 и 5.0, као и примене ИоТ технологија, на функционалност и ефикасност организација. С тим у вези, следећи корак

истраживања фокусираће се на проверу постављених хипотеза, кроз упоредну анализу добијених резултата и очекиваних исхода, како би се потврдила или одбацила релевантност претпоставки које су биле темељ овог истраживања.

7.1. Анализа доказа хипотеза

Хипотезе докторске дисертације на тему „Нове могућности примене рачунарских алата и математичких модела”:

7.1.1. Прва хипотеза

У овом делу дисертације врши се анализа доказа прве хипотезе и њених посебних компоненти, са циљем да се утврди степен потврђености претпоставки из теоријског и практичног дела истраживања. Прва хипотеза (X1) поставља да примена нових рачунарских алата и оригиналних математичких модела развија аналитичко размишљање, омогућава оптимизацију процеса, побољшава разумевање математичких концепата и оспособљава за ефикасно решавање практичних математичких проблема.

7.1.1.1. Прва посебна хипотеза

Посебна хипотеза X1-1 истражује могућност да математичким моделом буде пронађено јединствено решење проблема турбулентног струјања и стабилности „феномена транспорта“, избегавајући значајне губитке и непотребне експерименте кроз примену закона очувања енергије израженог математичким формулама. Резултати показују да је ова претпоставка у потпуности остварена, што потврђује ефикасност и примењивост предложеног математичког модела.

7.1.1.2. Друга посебна хипотеза

Посебна хипотеза X1-2 фокусира се на скуп униформно конвексних функција, где се доказује да је s-хибридна убрзана метода барем линеарно конвергентна, а додатно, под постављеним условима, процењена је вредност итеративног смањења функције. Добијени резултати потврђују ову претпоставку, чиме се демонстрира робусност и примењивост s-хибридне методе у оптимизационим моделима.

7.1.2. ДРУГА ХИПОТЕЗА

У наставку се анализира доказ друге хипотезе и њених посебних компоненти, са циљем да се утврди утицај дигиталне трансформације и савремених технологија на квалитет живота, пословања и економски развој. Друга хипотеза (X2) поставља да примена концепата ВИ, Индустрије 4.0, Индустрије 5.0 и ИоТ-а доводи до унапређења квалитета живота, повећања продуктивности и конкурентности, као и стварања нових радних места и развоја економије. Индикатори за верификацију ове хипотезе укључују ниво дигитализације предузећа, број патената повезаних са ВИ, ниво инвестиција у ИТ, проценат предузећа која користе ИоТ и OLAP решења, брзину интернета и вредност тржишта индустријских робота.

7.1.2.1. Прва посебна хипотеза

Посебна хипотеза X2-1 истражује утицај процеса дигитализације, Индустрије 4.0, Индустрије 5.0 и ИоТ на креирање и развој оригиналних пословних модела. Резултати истраживања потврђују да наведене технологије пружају нове перспективе и могућности за иновације у пословним процесима, унапређујући структуру и ефикасност пословних модела.

7.1.2.2. Друга посебна хипотеза

Посебна хипотеза X2-2 фокусира се на улогу метода, техника и алата ВИ у обради великих података. Истраживање показује да кључни корисници могу брзо и једноставно приступати, претраживати, филтрирати и анализирати велике количине података из различитих пословних извора, што значајно доприноси процесу доношења пословних одлука и стратегијског планирања.

Анализа доказа хипотеза

У овом поглављу врши се детаљна анализа и верификација постављених хипотеза истраживања. Потврда или одбацивање хипотеза заснива се на резултатима добијеним анкетним истраживањима, статистичкој обради података и компарацији са релевантним теоријским и практичним изворима.

Потврда прве хипотезе (X1)

X1: Примена нових рачунарских алата и оригиналних математичких модела развија аналитичко размишљање, омогућава оптимизацију процеса и побољшава разумевање математичких концепата.

Посебне хипотезе:

X1-1: Математички модел омогућава проналажење јединственог решења проблема турбулентног струјања, уз минимизацију експерименталних грешака. Резултати истраживања потврђују да примена закона очувања енергије и имплементација концепта „феномена транспорта“ обезбеђују стабилно и оригинално решење, чиме се значајно смањује потреба за експериментима и практичним тестирањима.

X1-2: У скупу униформно конвексних функција, под претпоставком да је циљна функција униформно конвексна, s-хибридна убрзана метода показује барем линеарну конвергенцију. Додатно, анализом итеративног смањења функције потврђено је да метод пружа стабилне и предвидиве резултате, што омогућава практичну примену у оптимизационим моделима.

ДОКАЗ ХИПОТЕЗА

Резултати анкете:

Анкета о примени математичких модела у Републици Србији, спроведена на узорку од 42 стручњака из области природних и техничких наука, дала је следеће кључне резултате:

Параметар	Вредност
Процент испитаника који користе рачунарско математичке моделе	95%
Задовољство резултатима	70%
Редовно ажурирање модела	60%
Просечна оцена корисности модела (1–5)	4,2
Стандардна девијација	0,7

Интерпретација резултата:

- Висока просечна оцена (4,2) и ниска стандардна девијација (0,7) указују на конзистентно позитиван став испитаника према примени математичких модела.
- Употреба статистичких и симулационих модела доминира, што потврђује њихову применљивост у решавању практичних проблема.
- Изазови, као што је недостатак техничке подршке, не умањују општи став да модели значајно доприносе оптимизацији процеса.

На основу добијених података, може се закључити да анкета потврђује валидност хипотезе X1 и њених подхипотеза (X1-1 и X1-2). Примењени математички модели показују високу корисност и релевантност у реалном окружењу, што истовремено потврђује и практичну примену теоријских модела изложених у дисертацији.

Потврда друге хипотезе (X2)

Хипотеза X2 истражује утицај дигиталне трансформације и примене концепата ВИ, Индустрије 4.0, Индустрије 5.0 и Интернета ствари (ИоТ) на унапређење квалитета живота, пословања и развоја економије.

Посебне хипотезе:

- **X2-1:** Дигитализација и примена Индустрије 4.0, Индустрије 5.0 и ИоТ отварају простор за развој иновативних пословних модела.
- **X2-2:** Методе, технике и алати ВИ пружају подршку ефикасној анализи података и доношењу одлука.

Докази и интерпретација

Анкетно истраживање спроведено на узорку од 42 стручњака из области информационих технологија и пословне аналитике показало је следеће:

- Висок ниво дигитализације у предузећима (83%) и растући број инвестиција у ИТ инфраструктуру.
- Примењена ИоТ и OLAP решења користи 76% испитаника, а 68% предузећа користи анализу података уз подршку алата ВИ.
- Висок степен задовољства резултатима дигитализације и примене савремених технологија (просечна оцена 4,3 од 5, стандардна девијација 0,6).

Резултати указују да дигитализација и ИоТ, као и употреба алата ВИ, значајно доприносе развоју иновативних пословних модела и омогућавају ефикасну анализу података за доношење информисаних одлука. На основу наведеног, хипотеза X2 и њене подхипотезе X2-1 и X2-2 могу се сматрати потврђеним.

Резултати анкете

Резултати анкетних истраживања пружају чврсту подлогу за потврду постављених хипотеза.

Анкета 1 – Општа информисаност (N=120):

Питање	Резултат
Коришћење ВИ алата	65%
Најчешћа примена	Образовна и пословна
Утицај друштвених мрежа на куповину	0% испитаника „значајан”

На основу резултата анкете и статистичке анализе, дисертација пружа свеобухватан увид у примену рачунарских алата, математичких модела и дигиталне трансформације. Висок проценат корисника математичких модела и позитивне оцене њихове корисности потврђују претпоставке прве хипотезе (X1) и њених подхипотеза X1-1 и X1-2. Детаљна анализа униформно конвексних функција и примена s-хибридне убрзане методе показује да ови модели омогућавају стабилна и предвидива решења сложених оптимизационих проблема, што је у складу са резултатима других аутора у области конвексне оптимизације (Boyd & Vandenberghe, 2004) и примене математичких модела у турбулентним струјањима (Pore, 2000)[18];[114].

Анкета 2 – ВИ у Србији (N=737):

Питање	Вредност
Подршка примени ВИ	60%
Ниво информисаности	„Умерено до високо”

Статистичка анализа – Хи-квадрат тест:

- **Групе:** старосне доби (нпр. <30, 30–50, >50) × употреба ВИ
- **χ^2 вредност:** 8.21
- **p < 0.05** - постоји статистички значајна веза између старосне доби и употребе ВИ.

С друге стране, потврда друге хипотезе (X2) и подхипотеза X2-1 и X2-2 добијена је на основу квантитативних података о дигитализацији и примени ВИ и ИоТ у Србији. Анкетни резултати (N = 737), уз статистички значајну везу старосне доби и употребе ВИ ($\chi^2 = 8,21$; p <

0,05), показују да дигитална трансформација није само технолошки, већ и друштвено-економски процес. Корисници OLAP алата и метода ВИ оцењују да ови алати значајно унапређују стратешко и оперативно доношење одлука, што је у складу са налазима у економској и управљачкој литератури (Brynjolfsson & McAfee, 2014), који истичу утицај дигитализације на продуктивност и иновације[22].

Допунске напомене:

- Допунске напомене указују да OLAP алати имају високу применљивост у доношењу стратешких и оперативних одлука, а резултати истраживања потврђују да дигитална трансформација представља не само технолошки већ и друштвено-економски процес са вишеструким користима.
- На основу наведених квантитативних података, статистичке обраде и теоријске подршке, хипотеза X2 и обе подхипотезе X2-1 и X2-2 могу се сматрати потврђеним. Резултати указују на све већу интеграцију дигиталних алата, ВИ и OLAP решења у свакодневни живот и пословање.

Интердисциплинарни приступ који спаја математичко моделирање, дигиталну трансформацију и организациони развој показује се као кључан фактор у стварању иновативних пословних модела и оптимизацији процеса. Резултати истраживања наглашавају да ефикасна примена нових технологија у пракси захтева истовремено развијање аналитичких компетенција, разумевање теоријских концепата и праксу имплементације алата ВИ и OLAP решења.

Укупна анализа показује:

- Високу применљивост математичких модела у реалним сценаријима;
- Растући утицај дигиталне трансформације, посебно у домену ВИ и OLAP алата;
- Значај интердисциплинарности као основе за оптимизацију и иновације.

На основу ових резултата, обе главне хипотезе дисертације – X1 и X2 – могу се сматрати валидним, што пружа емпиријску потврду методолошког оквира постављеног у првом поглављу рада.

На крају дискусије, на основу теоријске евалуације и резултата истраживања у пракси, може се констатовати да су све постављене хипотезе потврђене. Применом нових рачунарско-математичких модела омогућено је проналажење јединствених решења

сложених проблема турбулентног струјања и оптимизација процеса у складу са принципима закона очувања енергије. Истовремено, емпиријски налази показују значај дигиталне трансформације, примену Индустије 4.0 и 5.0, ИоТ и ВИ алата, који унапређују квалитет живота, пословање и економски развој. Ови резултати указују на важност интердисциплинарног приступа, синтезе теорије и праксе и значај примене аналитичких и дигиталних алата у решавању сложених проблема.

Закључно, дисертација потврђује да синтеза теорије и праксе, подржана конкретним емпиријским подацима, омогућава:

- проналажење јединствених решења сложених математичких и физичких проблема;
- оптимизацију процеса у различитим индустријама;
- развој иновативних пословних модела кроз дигитализацију и ВИ;
- унапређење квалитета живота и економске конкурентности.

Ови налази служе као основа за будућа истраживања која могу да се усмере на: дугорочне ефекте примене математичких модела у индустријама са високим степеном аутоматизације, друштвене и етичке аспекте дигиталне трансформације, као и на интеграцију ВИ алата у мултидисциплинарне студије случаја.

8. ЗАКЉУЧАК

У докторској дисертацији истражени су различити аспекти примене нових рачунарских алата, метода и технологија, као и математичких модела, у контексту оптимизације процеса и унапређења пословања. Истраживање је омогућило стицање дубоког и суштинског разумевања процеса дигитализације, концепата индустрије 4.0 и 5.0, као и ИоТ-а, као и њиховог утицаја на друштво.

Теоријски значај истраживања докторске дисертације огледа се у систематској и упоредној анализи најновијих репрезентативних истраживања и литературе, кроз представљање резултата који указују на допринос рачунарских алата, метода, техника и математичких модела у унапређењу постојећих процеса.

Фундаментални закључак истраживања је да примена софистицираних рачунарских алата и математичких модела омогућава оптимизацију пословних процеса, што директно води ка значајном унапређењу пословања предузећа.

Ова докторска дисертација има значајне импликације за истраживаче, стручњаке и пословне системе у области примене рачунарских метода, техника и алата у пракси, као и примене оригиналних математичких модела у оптимизацији процеса. Резултати истраживања могу бити корисни у реалном окружењу, јер њиховом применом предузећа унапређују постојеће процесе и решавају конкретне проблеме. Организације могу користити налазе ове дисертације како би боље разумеле и оптимизовале стратегије имплементације софистицираних рачунарско-математичких модела и постизале боље резултате у пословању.

У закључку се истиче да ова дисертација пружа важан увид у нове могућности примене рачунарско-математичких модела како у Србији, тако и на глобалном нивоу. Она може играти кључну улогу у развоју аналитичког резоновања младих генерација, пружајући практичне примере примене математичког моделовања у пословању, са потенцијалом смањења трошкова и побољшања квалитета пословних процеса.

Такође, ово истраживање попуњава празнину у студиозним истраживањима у нашем окружењу, јер до сада није било радова који би систематски испитивали примену рачунарских алата и математичких модела на овако конципиран начин. Очекује се да ће резултати дисертације мотивисати будућа истраживања у овој изузетно актуелној области. Поред тога, увођење математичког моделовања у образовне планове и наставу може значајно

побољшати разумевање математичких принципа и њихову практичну примену у комбинацији са рачунарским алатима у различитим професионалним и свакодневним контекстима.

Резултати овог дела дисертације указују на оригиналан приступ истраживању заснован на стандардној теорији математичке физике за идеално кретање гаса у турбулентном струјању. За те сврхе формирана је математичка апаратура која омогућава испитивање неидеалних гасова у турбулентним струјањима. Овде је посебно значајан теоретски приступ заснован на примени математичких модела за процес пластификације, који узимају у обзир законе очувања енергије, масе и импулса, као и карактеристике самог материјала. Такође, могуће је дефинисати нетипичне услове не само за брзину, већ и за густину и температуру.

Познато је да се сви проблеми нестабилности у природи рефлектују у тродимензионалној перцепцији турбулентног тока, у складу са законом очувања енергије, зависно од топлотне густине. Кључни резултати показују да постојање, јединственост и регуларност очувања импулса, као и конвективни пренос топлоте и масе, пружају нови приступ за одређивање топлотних вредности у процесу убризгавања у калупе, укључујући температуру топлења, вектор брзине и обраду притиска, као и њихову контролу и оптимизацију.

Истакнута је функција Максвелове дистрибуције брзине честица (или Гринова функција у математичкој физици за трансфер топлоте и Поасонова једначина у утврђеном случају), за коју је изведена дивергенција и ротациона анализа понашања просторно-временских смерова турбуленције. На овај начин добијамо јасан математички доказ да конзервативно поље сила производи дисконтинуиране флукуације и да има просторно-временски зависан утицај на густину и вектор брзине.

Функција обраде притиска омогућава интерпретацију ефекта нестабилности и нелинеарне интеракције, што је у вези са распадом таласног спектра и сатурацијом нелинеарне интеракције у природи турбулентних ефеката струјања. Тродимензионални закон очувања енергије регулише притисак, који заузврат утиче на вектор брзине убризгавања и, на крају, на температуру топлења композитних материјала.

Оригинални резултати овог истраживања потврђују природну повезаност појединих термодинамичких карактеристика. Поред тога, идентификоване су и скривене зависности

вектора брзине од расподеле притиска, које изазивају различите турбулентне ефекте у складу са опште познатим законом очувања енергије. Представљени математички модел укључује термодинамичке конвективне и дифузивне параметре за процес убризгавања у калупе, који зависе од топлотне густине, брзине убризгавања, обраде притиска и температуре топљења.

У истраживању су узети у обзир релевантни параметри трансфера и закони који их дефинишу. За потребе одређивања неопходних параметара постављене су почетне и граничне вредности, температура топљења, брзина убризгавања и топлотна густина, на основу којих се одређује почетна обрада притиска. Примјеном приближних формула за израчунавање вишеструких интеграла, координатне мреже и формуле квадратуре у цилиндру, одређени су оптимални параметри и одговарајући коефицијенти који могу бити предмет будућих истраживања.

На крају, може се закључити да, ако турбуленција постоји у природи, онда у принципу мора постојати и њен класичан, правилан исказ, који гарантује јединственост, постојање и резултате решења.

У докторској дисертацији студија је проширена применом математичких модела, са фокусом на скуп униформно конвексних функција. Под претпоставком да је циљна функција униформно конвексна, доказано је да је s -хибридна убрзана метода барем линеарно конвергентна. Поред тога, под дефинисаним условима, процењена је вредност итеративног смањења функције. Ови резултати пружају темељ за даља истраживања и развој различитих варијанти s -хибридних итерација.

Кроз примену рачунарско-математичких модела и савремених софтверских техника и алата, развијају се математичке способности корисника и истовремено се припремају за изазове у реалним условима. У овом контексту користе се анализа података, симулације и процес креирања конкретних модела који осликавају и имитирају стварне ситуације. Такви модели омогућавају развој критичког аналитичког размишљања и доприносе ефикасном решавању проблема у практичним сценаријима.

На основу проведеног истраживања, може се закључити да интеграција рачунарско-математичких модела и савремених дигиталних алата представља снажан механизам за оптимизацију пословних и техничких процеса. Примењене методологије омогућавају систематско решавање комплексних проблема, унапређују разумевање математичких и техничких концепата и развијају критичко аналитичко размишљање. Истовремено, резултати

истраживања указују на значај интердисциплинарног приступа и пружају конкретну основу за даља истраживања, примену у пракси и унапређење процеса у различитим областима на националном и глобалном нивоу.

9. НАУЧНИ И СТРУЧНИ ДОПРИНОСИ

Научни допринос ове докторске дисертације је значајан и вишеструк. Првенствено, рад представља иновативан и оригиналан приступ примене рачунарско-математичких модела у оптимизацији процеса и решавању сложених практичних проблема, што проширује границе постојећег научног знања. Предложени модел је резултат систематског истраживања, које је објединило еволуцију логичких правила, теоријско-епистемолошка сазнања и вишегодишње практично искуство у развоју функционалних програмских решења. Овим је створен јединствен инструмент који омогућава не само теоријску анализу, већ и примену у реалним сценаријима, пружајући валидне и поуздане резултате. Рад такође демонстрира да интеграција математичких модела и рачунарских алата може значајно унапредити процес доношења одлука, смањити трошкове и повећати ефикасност у различитим областима. Све наведено потврђује да ова дисертација даје суштински и практично значајан допринос науци, истраживачкој пракси и примени иновативних решења у реалном окружењу.

Резултати истраживања из области примене нових рачунарско математичких модела, а који су настали приликом стварања докторске дисертације презентовани су верификовани и публиковани у више од 40 научних радова у међународним и домаћим часописима и међународним научним конференцијама:

[M-22] Рад у истакнутом међународном часопису:

Stojanović, K., Stevanović, V., Stevanović, M. Denić, N., Milovančević, M. *On a Mathematical Model of Melting Metal–Polymer Composites for Injection Molding in a Cylindrical Domain.* J. Vib. Eng. Technol. (2023). <https://doi.org/10.1007/s42417-023-00912-w>

[M-23] Рад у међународном часопису:

Stojanovic, K., Petrovic, V. (2024). Convergence features of the SHSM optimization model for the uniformly convex problems, Journal of Contemporary Mathematical Analysis Functional Analysis. - **M23** (Прихваћен за објављивање-потврда главног уредника).

[M-24] Рад у националном часопису међународног значаја верификован посебном одлуком матичних одбора:

Petković, B., Denić, N., Odalović, T., Popović, M., **Stojanović, K.** “ORGANIZATIONAL PATHOLOGY AND CRISIS MANAGEMENT” Časopis ODITOR God.9 Broj 3 (2023) doi: 10.59864/Oditor32306P pp139-157 UDK: 005.334:005.7

[M-33] Саопштење са међународног скупа штампано у целини:

Tomic, M., **Stojanovic, K.**, Denic, N., Zlatkovic, M. *Trends in Quality Management: Quality 4.0 – Oportunities and chalenges in the age of Artificial Inteligence.* 8th International Scientific Conference „Law, Economy and Management in Modern Ambience” - Artificial Intelligence (AI) - LEMiMA 2023, Belgrade. <https://enauka.gov.rs/handle/123456789/769333>

Stojanovic, K., Denic, N., Popovic, M., Zlatkovic, D. *Posibilities of Aplicationn of Artificial Inteligence in business improvement.* 8th International Scientific Conference „Law, Economy and Management in Modern Ambience” - Artificial Intelligence (AI) - LEMiMA 2023, Belgrade. <https://enauka.gov.rs/handle/123456789/769330>

Zlatkovic, D., **Stojanovic, K.**, Denic, N. *An overview of the development of Artificial Inteligence Technology in e-Learning during COVID-19.* 13th International Scientific Conference Science and Higher Education in Function of Sustainable Development – SED 2023, Western Serbia Academy of Applied Studies, Vrnjacka Banja. <https://enauka.gov.rs/handle/123456789/769326>

Stojanović, K., Stojanović, J., Nešić, Z., Denić, N. *Paradigms of application of ICT,* 14th International Quality Conference, 5. May 24-27, 2023, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, pp. 1173-1178, (ISBN: 978-86-6335-104-2) COBISS.SR-ID 115653385., CIP: 005.6(082)

Milić, M., Denić, N., **Stojanović, K.**, Stojanović, J. *Application of information systems and data processing tools in companies,* 13th International Scientific Conference Science and Higher

Education in Function of Sustainable Development – SED 2023, Western Serbia Academy of Applied Studies, Vrnjacka Banja. <https://enauka.gov.rs/handle/123456789/769326>

Stojanović, J., Denić, N., **Stojanović, K.** *Digital competencies of teachers in the function of ICT application in the teaching process.* 13th International Scientific Conference Science and Higher Education in Function of Sustainable Development – SED 2023, Western Serbia Academy of Applied Studies, Vrnjacka Banja. <https://enauka.gov.rs/handle/123456789/769326>

Denić N., Nešić Z., **Stojanović K.** *Business intelligent systems and discovery of knowledge in data,* 14th International Quality Conference, 5. May 24-27, 2023, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, pp. 795-803., (ISBN: 978-86-6335-104-2., COBISS.SR-ID 115653385., CIP: 005.6(082)

Nešić Z., Denić N., **Stojanović K.** *IT project planning process paradigms,* 14th International Quality Conference, 5. May 24-27, 2023, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, pp. 805-813., (ISBN: 978-86-6335-104-2., COBISS.SR-ID 115653385., CIP: 005.6(082)

Stojanović, K., Nešić, Z., Denić, N. *Specificity of the process of introducing ERP systems in companies,* 14th International Quality Conference, 5. May 24-27, 2023, Center for Quality, Faculty of Engineering, University of Kragujevac, Kragujevac, pp. 929-941., (ISBN: 978-86-6335-104-2., COBISS.SR-ID 115653385., CIP: 005.6(082)

Tomic, M., **Stojanovic, K.,** Zlatkovic, D., Denic, N. (2023). Smart City - Belgrade: Opportunities and Challenges. 13th International Conference on Applied Internet and Information Technologies BIIT 2023, October 13th, 2023, Bitola, Republic of North Macedonia, pp. 110-118 ISBN: 978-608-5003-03-7 https://AIITconference.org/files/Proceedings_AIIT2023.pdf

Denic, N., Radenković S., Kovačević A., **Stojanovic, K.** Internet Of Things, Big Data and Privacy Issues, 13th International Conference on Applied Internet and Information Technologies AIT 2023,

October 13th, 2023, Bitola, Republic of North Macedonia, pp. 45-50 ISBN: 978-608-5003-03-7
https://BIITconference.org/files/Proceedings_AIIT2023.pdf

Pravdic, P., Mojsilovic, M., Gavrilovic, G., **Stojanovic, K.** DETERMINING THE OPTIMAL PATH IN THE STRATEGIC MAP OF PUBLIC COMPANIES, 13th International Scientific Conference Science and Higher Education in Function of Sustainably Development – SED 2023.

Denić, N., **Stojanović, K.**, Stojanović, J. „Possibilities of applying IoT in the municipality of Gračanica” The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference “ALFATECH” Smart Cities and modern technologies March 15, 2024, Belgrade, Serbia, 20 – 20, ISBN 978-86-6461-070-4, COBISS.SR-ID 139964169, DOI: 10.5281/zenodo.10802515

Stojanović, K., Denić, N., Stojanović, J. “Paradigms of application of business data analysis and business intelligence in public administration and local self-government” “The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference “ALFATECH” Smart Cities and modern technologies March 15, 2024, Belgrade, Serbia, 20 – 20, ISBN 978-86-6461-070-4, COBISS.SR-ID 139964169, DOI: 10.5281/zenodo.10802515

Stojanovic, J., Denić, N., **Stojanović, K.** “Transformation of E-administration into digital administration and smart cities and villages” “The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference “ALFATECH” Smart Cities and modern technologies March 15, 2024, Belgrade, Serbia, 20 – 20, ISBN 978-86- 6461-070-4, COBISS.SR-ID 139964169, DOI: 10.5281/zenodo.10802515

Denić, N., Gavrilović, S., Stojanović, J., **Stojanović, K.** and Milić, M. The impact of digital literacy and the application of educational software on the quality of teaching, 10th International Scientific Conference Technics, Informatics, and Education – TIE 2024 20-22 September 2024, ISBN: 978-86-7776-276-6, pp. 179-185. DOI: 10.46793/TIE24.179D

Bulut Bogdanović, I., Denić, N., Stojanović, J., **Stojanović, K.** and Milić, M. Paradigms of digital competencies of students in higher education in the age of COVID 19, 10th International Scientific

Conference Technics, Informatics, and Education – TIE 2024 20-22 September 2024, ISBN: 978-86-7776-276-6, pp 462-471, DOI: 10.46793/TIE24.462BB

Gavrilović, S., Mojsilović, M., Denić, N., Stojanović, J. and **Stojanović, K.** The effects of implementing educational software in subject-specific mathematics instruction; 10th International Scientific conference Technics, Informatics and Education – TIE 2024; 20-22 September 2024, ISBN: 978-86-7776-276-6, pp570-577, DOI: 10.46793/TIE24.570G

Denić, N., Bulut Bogdanović, I. and **Stojanović, K.** “Effective communication as a function of the quality of electronic education, 4th International Conference on Scientific and Academic Research July 19-20, 2024,,: Konya, Turkey, Proceeding Book of 4th International Conference on Scientific and Academic Research ICSAR 2024, pp: 940-945, ISBN: 978-625-6314-24-5 <https://www.allsciencesacademy.com/>

Denić, N., Bulut Bogdanović, I., **Stojanović, K.**, Stojanović, J. and Mehmedi, S. Paradigms of digitization and informatization processes in healthcare, 5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences on August 25-26 in 2024 at Konya/Turkey. Proceeding Book of 5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2024: pp:68-78, edited by All Sciences Academy. ISBN: 978-625-6314-30-6 <https://www.iceans.org/>

Denić, N., Bulut Bogdanović, I., Stevanović, M., Stojanović, J. and **Stojanović, K.** Artificial intelligence in the function of business improvement, 5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences on August 25-26 in 2024 at Konya/Turkey. Proceeding Book of 5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2024: pp:57-67, edited by All Sciences Academy. ISBN: 978-625-6314-30-6 <https://www.iceans.org/>

Denić, N., Bulut Bogdanović, I., Stevanović, V., **Stojanović, K.** and Stojanović, J. The importance and perspectives of the development of digital competences in adults 5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences on August 25-26 in 2024 at Konya/Turkey. Proceeding Book of 5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences

ICEANS 2024: pp:45-56, edited by All Sciences Academy. ISBN: 978-625-6314-30-6
<https://www.iceans.org/>

Denić, N., Stojanović, J., **Stojanović, K.**, Kojić, N. and Milić, M. Intelligent decision support systems in small and medium enterprises in the Republic of Serbia. Proceeding Book of 3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024, September 11-12, 2024 in Konya, Turke, Proceeding Book of 3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024 pp:36-41, <https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home>

Denić, N., **Stojanović, K.**, Stojanović, J., Milić, M. and Mihajlović, S. Business decision making and intelligent systems 3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024, September 11-12, 2024 in Konya, Turke, Proceeding Book of 3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024, pp: 43-50, <https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home>

Denić, N., Milić, M., **Stojanović, K.**, Stojanović, J. and Mihajlović, S. Application of intelligent systems in forestry 3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024, September 11-12, 2024 in Konya, Turke, Proceeding Book of 3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024, pp:51-58, <https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home>

Denić, N., Stojanović, J., **Stojanović, K.**, Siljković, B. and Milić, M. Paradigms of application of digital technologies and innovations during the COVID-19 pandemic, 6th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences September 25-26, 2024: Konya, Turkey.

Denić, N., Stojanović, K., Stojanović, J., Milić, M. and Obradović, D. Educational software of modern trends in development and application 6th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences September 25-26, 2024: Konya, Turkey.

Denić, N., Milić, M., Stojanović, K., Stojanović, J. and Milić, A., Digital literacy as a key factor in successful education, 6th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences September 25-26, 2024: Konya, Turkey.

Denić, N., Stojanović, J., **Stojanović, K.**, Milić, M. and Mihajlović, S. “Development and perspectives of the ERP system” 5th International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2024, October 10-11, 2024: Konya, Turkey, pp31-37, edited by All Sciences Academy. ISBN: 978-625-6314-56-6 <https://www.icias.net/>

Denić, N., **Stojanović, K.**, Stojanović, J., Milić, M. and Mihajlović, S. Artificial intelligence and implications for business 5th International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2024, October 10-11, 2024: Konya, Turkey, pp38-42, edited by All Sciences Academy. ISBN: 978-625-6314-56-6, <https://www.icias.net/>

Denić, N., Milić, M., **Stojanović, K.**, Stojanović, J. and Mihajlović, S. Artificial intelligence and IT project management 5th International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2024, October 10-11, 2024: Konya, Turkey, pp 43-47, edited by All Sciences Academy. ISBN: 978-625-6314-56-6, <https://www.icias.net/>

Denić, N., Stojanović, J., **Stojanović, K.**, Milić, M. and Mihajlović, S. Six Sigma Quality Management and IT Competencies, *4th International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences October 22-23, 2024: Konya, Turkey, <https://www.icensos.com/>*

Denić, N., Vujovic, V., **Stojanović, K.**, Milić, M. and Mihajlović, S. New Models of IT Application in Construction, *4th International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences October 22-23, 2024: Konya, Turkey, <https://www.icensos.com/>*

Denić, N., Milić, M., **Stojanović, K.**, Petrović, V. and Mihajlović, S. New models for the application of intelligent techniques and OLAP tools, *4th International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences October 22-23, 2024: Konya, Turkey, <https://www.icensos.com/>*

[M-52] Часопис националног значаја:

Denić, N., **Stojanović, K.**, Popović, M. Intelligent systems in business function, January 2023, Ekonomski signali Volume 18(1): pages 1-10 DOI: [10.5937/ekosing2301001D](https://doi.org/10.5937/ekosing2301001D)

Denić, N., **Stojanović, K.**, Živković, D. & Vasić, M. (2024). Efekti implementacije informacionih sistema u poslovanje preduzeća. *Serbian Journal of Engineering Management*, 9(1), 25-32. <https://doi.org/10.5937/SJEM2401025D>

Stojanović, J., **Stojanović, K.**, Denić, N., Milić, M. (2024). Applicaton of artificial intelligence in the function of raising entrepreneurial competence. *SCIENCE International Journal*, 3(3), 149–152. <https://doi.org/10.35120/sciencej0303149s> (ERIH PLUS, категорија М 23 за ДХ поље)

10. ПРЕПОРУКЕ ЗА БУДУЋА ИСТРАЖИВАЊА

Резултати истраживања и развијени математички модели у овој дисертацији могу послужити као основа за даља истраживања и развој, посебно у области прилагодљивости пословних процеса и оптимизације рада организација. Важно је истаћи да истраживање није било без ограничења, те да будућа истраживања могу обухватити дубље анализе, веће узорке и додатне аспекте који утичу на примену рачунарско-математичких модела у пракси. Дисертација пружа темељ за испитивање ефеката софтверских решења у различитим областима, као и за откривање нових приступа и техника. Очекује се да ће резултати овог рада бити корисни истраживачима, образовним институцијама и практичарима, доприносећи бољем разумевању и унапређењу примене рачунарско-математичких модела у реалним условима, као и оптимизацији пословних процеса у динамичним и обновљивим окружењима.

Будућа истраживања требало би да се усмере на проширену примену и верификацију развијеног рачунарско-математичког модела у пракси, са фокусом на прилагођавање различитим делатностима и анализу потенцијалних баријера у процесу имплементације. Препоручује се:

- испитивање применљивости модела у различитим индустријским и услужним секторима, са циљем оцене његове одрживости и доприноса конкурентности предузећа;
- евентуална модификација и прилагођавање модела, заснована на комбинацији квалитативних и квантитативних метода, где се при доношењу закључака доминира чињеницама и подацима, а не само интуицијом или искуством;
- истраживање мање примењених и комплекснијих рачунарско-математичких модела, који би у конкретним пословним ситуацијама могли пружити нове увиде и решења, посебно у областима где класичне методе нису довољно ефикасне.

Оваква усмерења могу допринети даљем развоју науке и праксе, проширити могућности примене модела и подстаћи иновације у управљању и оптимизацији пословних процеса.

11. ЛІТЕРАТУРА

1. Acharya, Siddharth and Acharya, Adithya, Current Trends in Artificial Intelligence (February 2, 2023). Прейзето ca: SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4345629>
2. Agostini, L., Galati, F., & Gastaldi, L. (2020). The digitalization of the innovation process: Challenges and opportunities from a management perspective. *European journal of innovation management*, 23(1),1–12.
3. Akundi, A., Euresti, D., Luna, S., Ankobiah, W., Lopes, A. & Edinbarough, I. (2022). State of Industry 5.0 – Analysis and identification of current research trends. *Applied System Innovation*, 5(1), 27.
4. Aljanabi, M., Ghazi, M., Ali, A. H., & Abed, S. A. (2023). ChatGpt: Open Possibilities. *Iraqi Journal For Computer Science and Mathematics*, 4(1), 62-64.
5. Ambardar, S. (2024, Maj 15). *Intellipaat*. Retrieved from Pros and Cons of Artificial Intelligence: Прейзето ca: <https://intellipaat.com/blog/pros-and-cons-of-БІ/>
6. Atlas, S. (2023, Januar). ChatGPT for Higher Education and Professional Development: A Guide to Conversational AI. USA, Rhode Island: College of Business. Прейзето April 11, 2023, ca College of BUbusiness Faculty Publications:Прейзето ca https://digitalcommons.uri.edu/cgi/view_content.cgi?article=1547&context=cba_facpubs
7. Bansal, Aayam, Emotional Resonance in AI-Generated Music for Stress Therapy in Marginalized Communities (July 21, 2024). Прейзето ca: SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4976704> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4976704>
8. Bender, C. and Steiner, J. (2012) Least-Squares Monte Carlo for backward SDEs. Carmona, R.A., Del Moral, P., Hu, P. and Oudjane, N., Eds., *Numerical Methods in Finance*, Vol. 12, Springer Proceedings in Mathematics, Springer, Berlin Heidelberg, 257-289. Прейзето ca: https://doi.org/10.1007/978-3-642-25746-9_8
9. Bennett, M. (2024, Januar 25). *TechTarget*. Retrieved from The future of AI: What to expect in the next 5 years: Прейзето ca: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseAI/tip/The-future-of-AI-What-to-expect-in-the-next-5-years>
10. Berdijeva, O., Umar, I. M., & Saeedi, M. (2021). Artificial Intelligence in Accounting and Finance:Meta-Analysis. *International Business Review*,3(1),56 79. Прейзето ca: <https://doi.org/10.37435/nbr.v3i1.29>
11. Bergman, R. (2021, 3. november). *What does hyper automation really mean?* 25. jyh 2025 Прейзето ca: <https://www.turbotic.com/news-resources/what-does-hyperautomation-really-mean>
12. Bertolini, A., & Episcopo, F. (2021). The expert group’s report on liability for artificial intelligence and other emerging digital technologies: a critical assessment. *European Journal of Risk Regulation*, 12(3), 644-659.
13. Bharadwaj, A., El Sawy, O.A., Pavlou, P.A., & Venkatraman, N. (2013) ‘Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights’, *MIS Quarterly*, Special Issue: Digital Business, 37(2), pp. 471-482
14. Bhattacharjee, A. (2012). *Social Science Research: Principles, Methods, and Practices*. Textbooks Collection. Book 3.

15. Blaha, L, Hislop, D & Cai, J 2022, Making Sense of Intelligent Automation in Local Authorities: Research Report. University of Aberdeen Business ...
16. Bosch, R. (2019). *The history of artificial intelligence*. 25. jun 2025 Preuzeto sa: [www.bosch.com: https://www.bosch.com/stories/history-of-artificial-intelligence/](https://www.bosch.com/stories/history-of-artificial-intelligence/).
17. Boulton, C. (2018, 3. september). *What is RPA? A revolution in business process automation*. 11. Mart 2024 Preuzeto sa <https://www.cio.com/article/227908/what-is-rpa-robotic-process-automation-explained.html>
18. Boyd, S. and Vandenberghe, L. (2004) *Convex Optimization*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511804441>.
19. Breque, M., De Nul, L. and Petridis, A., *Industry 5.0 – Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*, Publications Office of the European Union, 2021, Preuzeto sa: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/308407>
20. Bringula, R. (2023) What do academics have to say about ChatGPT? A text mining analytics on the discussions regarding ChatGPT on research writing. *AI Ethics*, 1–13. Preuzeto sa: <https://doi.org/10.1007/s43681-023-00354-w>
21. Brownlee, J. (2019, August 11). A Tour of Machine Learning Algorithms. *Machine Learning Mastery*. Preuzeto sa <https://machinelearningmastery.com/a-tour-of-machine-learning-algorithms>
22. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company.
23. BuiltIn. (2022). *What is Artificial Intelligence? How Does AI Work?* Preuzeto 25. juni 2025 sa BuiltIn: <https://builtin.com/artificial-intelligence>.
24. Burns, E., Laskowski, N., & Tucci, L. (Februar 2022). *What is artificial intelligence (AI)?* Preuzeto sa TechTarget: Preuzeto sa: <https://www.techtarget.com/searchenterprise-AI/definition/AI-Artificial-Intelligence>.
25. Burns, E. (2023). *Techtarget*. 21. Maj 2023 Preuzeto sa: AI Artificial Intelligence: <https://www.techtarget.com/searchenterprise-AI/definition/AI-Artificial-Intelligence>
26. Cacicio, S. in Riggs, R. (2023). ChatGPT: Leveraging AI to Support Personalized Teaching and Learning. *Adult Literacy Education*, 70. <http://doi.org/10.35847/SCacicio.RRiggs.5.2.70>
27. Callahan, G. (2020, 11. december). *What are the advantages of artificial intelligence?* [objava na blogu]. 09. Mart 2025 Preuzeto sa: <https://www.rev.com/blog/what-are-the-advantages-of-artificial-intelligence>
28. Carew, J.M.(2021).*techtarget.com*.24.04. 2023, Preuzeto sa: [https:// AI www.tech target .com/searchenterpriseAI/definition/reinforcement-learning](https://www.techtarget.com/searchenterpriseAI/definition/reinforcement-learning)
29. Chaffey, D., & Smith, P. R. (2022). *Digital marketing excellence: planning, optimizing and integrating online marketing*. Taylor & Francis.
30. Chat GPT. (2024). Šta je veštačka inteligencija? Mart 22, 2024, Preuzeto sa: <https://chat.openAI.com>
31. Chatterjee, M. (2022, 2. januar). *Top 20 applications of deep learning in 2022 across industries* [objava na blogu]. 29. Mart 2025 Preuzeto sa: <https://www.mygreatlearning.com/blog/deep-learning-applications/>
32. Chen, X., Cheng, G., & He, Y. (2025). Mathematical Modeling and Optimization of Platform Supply Chain in the Digital Era: A Systematic Review. *Mathematics*, 13(17), 2863. <https://doi.org/10.3390/math13172863>

33. CHRISTOPHER, A. (2025). AI-Driven Models for Assessing Soil Nutrient Dynamics in Organic and Conventional Farming Systems. *International Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 1(1), 9-18.
34. Coman, D. M., Ionescu, C. A., Duică, A., Coman, M. D., Uzla, M. C., Stanescu, S. G., & State, V. (2022). Digitization of accounting: the premise of the paradigm shift of role of the professional accountant. *Applied Sciences*, 12(7), 3359.
35. Crompton, H. & Burke, D. (2023). Artificial intelligence in higher education: the state of the field. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 22. Препузето са: <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00392-8>
36. Cus, F. & Gecevska V.(2007., Intelligent manufacturing systems: znanstvena monografija, Skopje: Faculty of Mechanical Engineering.
37. Dacre, N., & Kockum, F. (2022). *Artificial intelligence in project management*. Association for Project Management.
38. Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of production economics*, 204, 383–394.
39. Davenport, T. H., & Ronanki, R. Artificial intelligence for the real world. *Harvard business review*, 96(1), 2018, pp. 108–116.
40. Denic, N., Radenković S., Kovačević A., Stojanovic, K., Internet Of Things, Big Data and Privacy Issues, 13th International Conference on Applied Internet and Information Technologies AIIT 2023, October 13th, 2023, Bitola, Republic of North Macedonia, pp. 45-50 ISBN: 978-608-5003-03-7 https://Aitconference.org/files/Proceedings_AIIT2023.pdf
41. Denić, N., Bulut Bogdanović ,I., Stevanović , M., Stojanović, J., and Stojanović, K. Artificial intelligence in the function of business improvement, 5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences on August 25-26 in 2024 at Konya/Turkey. Proceeding Book of 5th International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2024: pp:57-67, edited by All Sciences Academy. ISBN: 978-625-6314-30-6 <https://www.iceans.org/>
42. Denić,N., Stojanović ,J., Stojanović ,K., Kojić, N., and Milić, M. Intelligent decision support systems in small and medium enterprises in the Republic of Serbia. Proceeding Book of 3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024, September 11-12, 2024 in Konya, Turke, Proceeding Book of 3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024 pp:36-41, <https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home>
43. Denić, N., Stojanović, K., Stojanović,J., Milić, M., and Mihajlović, S. Business decision making and intelligent systems 3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024, September 11-12, 2024 in Konya, Turke, Proceeding Book of 3rd International Conference on Scientific and Innovative Studies ICSIS 2024, pp: 43-50, <https://as-proceeding.com/index.php/icsis/home>
44. Denić,N., Stojanović, K., Stojanović, J., Milić, M., and Mihajlović, S. Artificial intelligence and implications for business 5th International Conference on Innovative Academic Studies ICIAS 2024, October 10-11, 2024: Konya, Turkey, pp38-42, edited by All Sciences Academy. ISBN: 978-625-6314-56-6, <https://www.icias.net/>
45. Denić ,N., Milić ,M., Stojanović ,K., Stojanović,J., and Mihajlović, S. Artificial intelligence and IT project management 5th International Conference on Innovative Academic

- Studies ICIAS 2024, October 10-11, 2024: Konya, Turkey, pp 43-47*, edited by All Sciences Academy. ISBN: 978-625-6314-56-6, <https://www.icias.net/> n
46. Deloitte. (2020). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Прегледао се: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0.html>
 47. Dilmegani, C., (2023). AIMultiple: 7 Use cases of ChatGPT in marketing for 2023. 25 Mart 2023 Прегледао се: AIMultiple: <https://research.AImultiple.com/chatgpt-in-marketing>.
 48. D. Lund, B., & Wang, T. (2023). Chatting about ChtGPT: how may AI and GPT impact academia and libraries? *Library Hi Tech News*, 40. doi:10.1108/LHTN-01-2023- 0009
 49. Dobrojević Miloš (2019), "Industrija 4.0; U korak sa industrijskom revolucijom" Fakultet za računarstvo i informatiku. Sinergija University International Scientific Conference, 2019, pp.71-75.
 50. Duggal, N. (2022). *Advantages and Disadvantages of Artificial Intelligence*. Прегледао се 10.5.2025 ca https://www.simplilearn.com/advantages-and-disadvantages-of-artificial-intelligence-article#advantages_of_artificial_intelligence
 51. Duong, C. D. (2024). What makes for digital entrepreneurs? The role of AI-related drivers for nascent digital start-up activities. *European Journal of Innovation Management*.
 52. Đuričin, D., Vuksanović. I., *Ekonomika preduzeća* 64 (1-2), 15-36, 2016. 8, 2016
 53. Evropska Komisija 2025: Прегледао се 20 априла ca <https://www.coe.int/en/web/artificial-intelligence/the-frameworkconvention-on-artificial-intelligence>
 54. Fedyk, A., Hodson, J., Khmich, N., & Fedyk, T. (2022). Is artificial intelligence improving the audit process? *Review of Accounting Studies*, 27, 938-985. Прегледао се: <https://doi.org/10.1007/s11142-022-09697-x>
 55. Fitria, T. N. (2021). Artificial intelligence (AI) in education: Using AI tools for teaching and learning process. *Prosiding Seminar Nasional & Call for Paper*, 134-147. Прегледао се Jul 21, 2025, ca <https://prosiding.stie-aas.ac.id/index.php/prosenas/article/view/106/104>
 56. Floridi, L., & Chiriatti, M. (2020). GPT-3: Its Nature, Scope, Limits and Consequences. *Minds and Machines*, 30, 681-694. doi:10.1007/s11023-020-09548-1
 57. Gartner, Newsroom, Press Releases, Gartner Identifies Top 10 Strategic IoT Technologies and Trends), Прегледао се ca: <https://informationmatters.net/internet-of-things-statistics/>
 58. Gartner, (2021). Newsroom, Press Releases, *Gartner Identifies Top 10 Strategic IoT Technologies and Trends*, Barcelona, Spain
 59. Gartner. (10. oktober 2021). Analytics and Business Intelligence (ABI). Garner Glossary. Прегледао се 11. Februara 2025. ca <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/business-intelligence-bi>.
 60. Gartner. (2023). Top 10 Strategic Technology Trends for 2023. Прегледао се ca: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2023-03-20-gartner-identifies-top-10-strategic-technology-trends-for-2023>
 61. Generali. (2022, 25. mart). *Automation and artificial intelligence, what's new with the latest generation of robots*. 25. Jun 2024. Прегледао се ca: <https://www.general.com/info/discovering-general/all/2022/What-s-new-with-the-latest-generation-of-robots>
 62. Gerhátová, Z.; Zitrickýa, V.; Klapitaa, V. Industry 4.0 Implementation Options in Railway Transport Horizons of Railway Transport, *Transportation Research Procedia*, 53, 23–30,

- 2021.
63. Ghosh, B., Daugherty, P. R., Wilson, H. J., & Burden, A. (2019). Taking a systems approach to adopting AI. *Harv Bus Rev May*.
 64. Gillespie, N., Lockey, S., Curtis, C., Pool, J., & Akbari, A. (2023). Trust in Artificial Intelligence: A Global Study. The University of Queensland and KPMG Australia. doi:10.14264/00d3c94
 65. Glover, E. (2024, April 2). *Built In*. Retrieved from Artificial Intelligence.: Прейзето ca: <https://builtin.com/artificial-intelligence>
 66. Gordon, A. D., Negreanu, C., Cambroner, J., Chakravarthy, R., Drosos, I., Fang, H., ... & Zorn, B. (2023). Co-audit: tools to help humans double-check AI-generated content. *arXiv preprint arXiv:2310.01297*.
 67. Gopal, L. (2022, mart). *Intelligent automation* [objava na blogu]. 24. jun 2024. Прейзето ca: <https://nanonets.com/blog/what-is-intelligent-automation/>
 68. Harve, A. (2023). Hurix digital: *ChatGPT: Pros and Cons of Using ChatGPT in Higher Education*. 25. septembar 2023 Прейзето ca: <https://www.hurix.com/chat-gpt-pros-and-cons-of-using-chatgpt-in-higher-education/>.
 69. Hasanein, A. M. in Sobaih, A. E. E. (2023). Drivers and Consequences of ChatGPT Use in Higher Education: Key Stakeholder Perspectives. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 13(11), 2599–2614. Прейзето ca: <https://doi.org/10.3390/ejihpe13110181>
 70. Holst, A. (2020). Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2030. *statista*. Прейзето 01. maja 2025 ca <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>.
 71. Xun Xu, Yuqian Lu, Brigit Vogel-Heuser, Lihui Wang, Industry 4.0 and Industry 5.0 – Inception, conception and perception, *Edicija: Journal of Manufacturing Systems*, Broj 61, Elsevier, 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2021.10.006
 72. IBM Cloud Education. (2020). *ibm.com*. 25. jun 2025. Прейзето ca: <https://www.ibm.com/cloud/learn/neural-networks>
 73. IBM (04 Oct 2022). Background of sequential patterns, *IBM Corporation*. Прейзето ca: <https://www.ibm.com/docs/en/ias?topic=patterns-background>
 74. IBM. (2020d, 22. oktober). *Robotic process automation*. 28. jun 2024. Прейзето ca: <https://www.ibm.com/cloud/learn/rpa#toc-rpa-and-ar-1S-EcDna>
 75. IBM. (2021a, 15. april). *Hyperautomation*. 25. jun 2024 Прейзето ca: <https://www.ibm.com/cloud/learn/hyperautomation#toc-benefits-a-EBEE16mF>
 76. IBM. (2021b, 15. oktobar). *Differentiating Between Intelligent Automation and Hyper automation* [objava na blogu]. 26. Jun 2025. Прейзето ca: <https://www.ibm.com/cloud/blog/differentiating-between-intelligent-automation-and-hyperautomation>
 77. IBM. (2021c, 5. mart). *Intelligent Automation*. 27. Jun 2025. Прейзето ca: <https://www.ibm.com/cloud/learn/intelligent-automation>
 78. Iftikhar, N. and Nordbjerg, F. E. (2021). Adopting Artificial Intelligence in Danish SMEs: Barriers to Become a Data Driven Company, Its Solutions and Benefits. In *Proceedings of*

- the 2nd International Conference on Innovative Intelligent Industrial Production and Logistics - IN4PL*; ISBN 978-989-758-535-7, SciTePress, pages 131-136. DOI: 10.5220/0010691800003062
79. Javatpoint. (2022a). 25. 06. 2025. Прейзето са: <https://www.javatpoint.com/nlp>
 80. Javatpoint. (2022b). 25. 06. 2024. Прейзето са: <https://www.javatpoint.com/expert-systems-in-artificial-intelligence>
 81. Jia, Q., Guo, Y., Li, R., Li, Y., & Chen, Y. (2018). A conceptual artificial intelligence application framework in human resource management. *ICEB 2018 Proceedings*.
 82. Joshi, N. (2019). *7 Types Of Artificial Intelligence*. 15. jun 2025 Прейзето са: www.forbes.com:https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/06/19/7-types-of-artificial-intelligence/#c28bcc1233ee.
 83. Kane, Gerald et al. (14 July 2015). "Strategy, not Technology, Drives Digital Transformation". *MIT Sloan Management Review*. Archived from the original on 2015-07-17. Retrieved 9 October 2021
 84. Koochang, A., Sargent, C. S., Nord, J. H., & Paliszkiwicz, J. (2022). Internet of Things (IoT): From awareness to continued use. *International Journal of Information Management*, 62, 102442.
 85. Krajčovič, P., & Čábyová, Ľ. (2020). The role of SoLoMo marketing and media in the communication of eco-innovations. Wolters Kluwer. Budepest.
 86. Kumar, Bijay (14 Sept 2023). Python in Data Mining, *Coding Ninjas*. Прейзето са: <https://www.codingninjas.com/studio/library/python-in-data-mining>
 87. Kumar, C. (2018). *Artificial Intelligence: Definition, Types, Examples, Technologies*. 25. jun 2023. Прейзето са: <https://medium.com/@chethankumargn/artificial-intelligence-definition-types-examples-technologies-962ea75c7b9b>.
 88. Labbe, M., & Wigmore, I. (jun 2021). *narrow AI (weak AI)*. Прейзето са: TechTarget: <https://www.techtarget.com/searchenterpriseAI/definition/narrow-AI-weak-AI>.
 89. Lateef, A. A. A., Ali Al-Janabi, S. I., & Abdulteef, O. A. (2022, July). Artificial intelligence techniques applied on renewable energy systems: a review. In *Proceedings of International Conference on Computing and Communication Networks: ICCCN 2021* (pp. 297-308). Singapore: Springer Nature Singapore.
 90. Lecler, A., Duron, L., & Soyer, P. (2023). Revolutionizing radiology with GPT-based models: Current applications, future possibilities and limitations of ChatGPT. *Diagnostic and Interventional Imaging 000*, 1-6. doi: 10.1016/j.diii.2023.02.003.
 91. Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Sciences*, 13(4), 410. Прейзето са: <https://doi.org/10.3390/educsci13040410>
 92. Maddikunta, P. K. R. et al (2021). Industry 5.0: overview of technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, p. 1–19. Прейзето са: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452414X21000558>
 93. Majumder, P. (2021, 27. maj). *Interesting NLP use cases every data science enthusiast should know!* [objava na blogu] .09. maj 2025. Preuzeto sa <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/05/interesting-nlp-use-cases-every-data-science-enthusiast-should-know/>

94. Manyika, J., Lund, S., Bughin, J., Woetzel, J., Batra, P., Ko, R., & Sanghvi, S. (2017). Jobs lost, jobs gained: What the future of work will mean for jobs, skills, and wages. McKinsey & Company. Preuzeto April 10, 2025 sa <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages>
95. Marchuk, M. (2021, 18. februar). *What's the difference between RPA, intelligent automation, and hyperautomation?* [objava na blogu]. 22. jun 2025 Preuzeto ca: <https://www.blueprism.com/resources/blog/whats-the-difference-between-rpa-intelligent-automation-and-hyperautomation/>
96. Meick, A. (2022, 24. januar). *IPA boosts RPA in hyperautomation strategies.* [objava na blogu]. 28. jun 2025 Preuzeto ca: <https://technologyadvice.com/blog/information-technology/hyperautomation-intelligent-process-automation/>
97. Modig N., Ahlstrom P.: *This is Lean*. Stockholm: Rheologica Publishing, 2016.
98. Nambisan, S., & Baron, R. A. (2021). On the costs of digital entrepreneurship: Role conflict, stress, and venture performance in digital platform-based ecosystems. *Journal of Business Research*, 125, 520–532
99. Nexgits. (2023). *The Future of Artificial Intelligence: Trends and Predictions*. 24. Oktobar 2024. Preuzeto ca: https://issuu.com/nexgits/docs/the_future_of_artificial_intelligence_trends_and_/s/23041305.
100. Ngo, T. T. A. (2023). The perception by university students of the use of ChatGPT in education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (Online)*, 18(17), 4. Preuzeto ca: <https://doi.org/10.3991/ijet.v18i17.39019>
101. Nölle, C., Arteaga, A., Egia, J., Salis, A., De Luca, G. and Holzknecht, N. (2022). Digital Twin-enabled Application Architecture for the Process Industry. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Innovative Intelligent Industrial Production and Logistics - ETCIIM*; ISBN 978-989-758-612-5; ISSN 2184-9285, SciTePress, pages 255-266. DOI: 10.5220/0011561800003329
102. OECD(2019), *Artificial Intelligence in Society*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/eedfee77-en>.
103. Ohue M, Yasuo N, Takata M. Innovations in Mathematical Modeling, AI, and Optimization Techniques. *The Journal of Supercomputing*, 81: 340, 2025. doi: 10.1007 .
104. Oladele, I. O. et al. (2024). Advances in Human-Machine Collaboration in Manufacturing: Industry Overview 1.0 – 6.0. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 18(4), p. 10303–10329. Preuzeto ca: <https://doi.org/10.15282/jmes.18.4.2024.7.0813>
105. Oppermann, A. (2022, 2. maj). *What is deep learning and how does it work?* 09. maj 2025. Preuzeto ca: <https://builtin.com/machine-learning/what-is-deep-learning>
106. Owen-Hill, A. (2017). *What's the Difference Between Robotics and Artificial Intelligence?* 25. jun 2024. Preuzeto ca: [blog.robotiq.com: https://blog.robotiq.com/whats-the-difference-between-robotics-and-artificial-intelligence](https://blog.robotiq.com/whats-the-difference-between-robotics-and-artificial-intelligence).
107. Parikh, N. (2023). *Exploring the Future of Artificial Intelligence — 8 Trends and Predictions for the Next Decade*. 24. avgust 2025, Preuzeto ca: <https://www.entrepreneur.com/science-technology/8-BI-trends-and-predictions-for-the-next-decade/455115>.
108. Parviainen, P., Tihinen, M., Kaariainen, J., & Teppola, S. (2017). Tackling the Digitalization Challenge: How to Benefit from Digitalization in Practice.
109. Petersson, L., Larsson, I., Nygren, J. M., Nilsen, P., Neher, M., Reed, J. E., ... & Svedberg, P. (2022). Challenges to implementing artificial intelligence in healthcare: a qualitative

- interview study with healthcare leaders in Sweden. *BMC health services research*, 22(1), 850.
110. Petrovic, M.J. Valjarevic, D. Ilic, A. Valjarevic, J. Mladenovic, An improved modification of accelerated double direction and double step-size optimization schemes, *Mathematics* (2022), 10(2), 259. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/math10020259>
 111. Petrovic, M.J. Rakocevic, V. Comparative analysis over accelerated models for solving unconstrained optimization problems with application of Khan's hybrid rule, *Mathematics* 2022, 10(23), 4411. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/math10234411>
 112. Petrovic, M. Rakocevic, V. Kontrec, N. Panic, S. Ilic, D. Hybridization of accelerated gradient descent method, *Numer. Algor.* DOI 10.1007/s11075-017-0460-4, (2018), pp 1–18.
 113. Petrovic, M. Rakocevic, V. Ilic, D. Hybrid optimization models based on S-iteration process, *Filomat* Vol 38(27) (2024). Преузето са: <https://www.pmf.ni.ac.rs/filomat-content/2024/38-27/38-27-22-23092.pdf>
 114. Pope, Stephen B. *Turbulent Flows* ISBN 10: [0521598869](https://doi.org/10.1017/9780521598869) / ISBN 13: [9780521598866](https://doi.org/10.1017/9780521598866) Editore: Cambridge University Press, 2000
 115. Ram, B., & Verma, P. (2023). Artificial Intelligence AI-based Chatbot study of ChatGPT, Google AI Bard and AIdu AI. *World journal of advanced engineering technology and sciences*, 8(1), 258-261.
 116. Rahman, M. M. in Watanobe, Y. (2023). ChatGPT for education and research: Opportunities, threats, and strategies. *Applied Sciences*, 13(9), 5783. Преузето са: <https://doi.org/10.3390/app13095783>
 117. Rapp, K. (2022, 7. januar). *Artificial intelligence in manufacturing: real world success stories and lessons learned* [objava na blogu]. 25. septembar 2024 Преузето са: <https://www.nist.gov/blogs/manufacturing-innovation-blog/artificial-intelligence-manufacturing-real-world-success-stories>
 118. Rasha El-Azab, Smart homes: potentials and challenges, *Clean Energy*, Volume 5, Issue 2, June 2021, Pages 302–315, Преузето са: <https://doi.org/10.1093/ce/zkab010>
 119. Републички завод за статистику Србије, Преузето са: <https://publikacije.stat.gov.rs/G2024/img/G20242057.jpg>
 120. Saeid Nahavandi, 2019. "Industry 5.0—A Human-Centric Solution," *Sustainability*, MDPI, vol. 11(16), pages 1-13, August.
 121. Sas. (2019). *Künstliche Intelligenz*. 25. jun 2023 Преузето са [www.sas.com](https://www.sas.com/de_at/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html): https://www.sas.com/de_at/insights/analytics/what-is-artificial-intelligence.html.
 122. Sayantini, D. (2019). 17. 05. 2024 Преузето са: <https://www.edureka.co/blog/fuzzy-logic-AI/>
 123. Schroer, Alyssa. "Artificial Intelligence. What Is Artificial Intelligence (AI)? How Does AI Work?" Built In, July 27, 2023. Преузето са: <https://builtin.com/artificial-intelligence>.
 124. Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., Hompel, M., ten, & Wahlster, W. (2017). *Industrie 4.0 maturity index: Managing the digital transformation of companies*.
 125. Shankland, S. (2023). CNET: *Why We're Obsessed With the Mind-Blowing ChatGPT AI Chatbot*. 28. septembar 2024. Преузето са: CNET: <https://www.cnet.com/tech/computing/why-were-all-obsessed-with-the-mind-blowing-chatgpt-ai-chatbot/>.
 126. Shadz, L. (2023, Jun 13). *Hotjar*. Retrieved from Beyond the prompt: the impact of artificial intelligence on 5 major industries: Преузето са: <https://www.hotjar.com/blog/ai-impact-industries-1/>
 127. Sidorenko, A. (2021). *Civil Society Looks into the Future of Technology: A Survey of Civil*

- Society Experts' and Activists' Opinions on Technological Opportunities and Risks. *Сканирование горизонтов: роль информационных технологий в будущем гражданского общества*, (1), 26-49.
128. Simplilearn (04 Sept 2023). What is Big Data Analytics and Why It is Important?, *Simplilearn*. Прегузето са: <https://www.simplilearn.com/what-is-big-data-analytics-article>
 129. Sinha, Ankur & Malo, Pekka & Deb, Kalyanmoy, 2017. "Evolutionary algorithm for bilevel optimization using approximations of the lower level optimal solution mapping," *European Journal of Operational Research*, Elsevier, vol. 257(2), pages 395-411.
 130. Sok, S., & Heng, K. (2023, Mart 9). *ChatGPT for Education and Research: A Review of Benefits and Risks*. Retrieved Jun 24, 2024, from SSRN: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4378735
 131. Staff, C. (2023, November 29). *Coursera*. Retrieved from What Is Artificial Intelligence? Definition, Uses, and Types: Прегузето са: <https://www.coursera.org/articles/what-is-artificial-intelligence>
 132. Stanimirovic, P.S. Milovanovic, G.V. Petrovic, M.J. Kontrec, N. A Transformation of Accelerated Double Step Size Method for Unconstrained Optimization, *Mathematical Problems in Engineering*, Volume 2015 (2015), Article ID 283679, 8 pages.
 133. Stojanovic, K., Petrovic, V., Convergence features of the SHSM optimization model for the uniformly convex problems, *Journal of Contemporary Mathematical Analysis Functional Analysis* (Прихваћен за објављивање-потврда главног уредника) .
 134. Stojanović, K., Stevanovic, V., Stevanovic, M. Denić N., Milovančević M. On a Mathematical Model of Melting Metal–Polymer Composites for Injection Molding in a Cylindrical Dom. *Вин. J. Vib. Eng. Technol.* (2023). Прегузето са: <https://doi.org/10.1007/s42417-023-00912-w>
 135. Stojanovic, K., Denic, N., Popovic, M., Zlatkovic, D. Possibilities of Application of Artificial Intelligence in business improvement. 8th International Scientific Conference „Law, Economy and Management in Modern Ambience” - Artificial Intelligence (VI) - LEMiMA 2023, Belgrade. Прегузето са: <https://enauka.gov.rs/handle/123456789/769330>
 136. Stojanović, K., Denić, N., Stojanović, J. “Paradigms of application of business data analysis and business intelligence in public administration and local self-government” “The Book of Abstracts International Scientific and Professional Conference “ALFATECH” Smart Cities and modern technologies March 15, 2024, Belgrade, Serbia, 20 – 20, ISBN 978-86-6461-070-4, COBISS.SR-ID 139964169, DOI: 10.5281/zenodo.10802515
 137. Stojanović, J., Stojanović, K., Denić, N., Milić, M. (2024). APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION IN THE FUNCTION OF RBUSING ENTREPRENEURIAL COMPETENCE. *SCIENCE International Journal*, 3(3), 149–152. Прегузето са: <https://doi.org/10.35120/sciencej0303149s>
 138. Stolterman E., Fors A., 2004, Information technology and the good life, *Information Systems Research*, pp. 687-692.
 139. Taylor, David (23 Dec 2023). What is Mongo DB? Introduction, Architecture, Features & Example, *Guru99*. Прегузето са: <https://www.guru99.com/what-is-mongodb.html>
 140. Tavera Romero, C. A., Ortiz, J. H., Khalaf, O. I., & Ríos Prado, A. (2021). Business

- Intelligence: Business Evolution after Industry 4.0. *Sustainability*, 13(18), 10026. Прейзето ca: <https://doi.org/10.3390/su131810026>
141. Thomas, M. (2024, Mart 13). *Built in*. Retrieved from The Future of AI: How Artificial Intelligence Will Change the World: Прейзето ca: <https://builtin.com/artificial-intelligence/artificial-intelligence-future>
 142. Thomas, M., & Whitfield, B. (2024, Mart 1). *Built in*. Retrieved from 12 Risks and Dangers of Artificial Intelligence (AI): Прейзето ca: <https://builtin.com/artificial-intelligence/risks-of-artificial-intelligence>
 143. Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P., & Fischl, M. (2021). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502–517. Прейзето ca: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.009>
 144. Tussyadiah, I. (2020). A review of research into automation in tourism: Launching the Annals of Tourism Research Curated Collection on Artificial Intelligence and Robotics in Tourism. *Annals of Tourism Research*, 81, 102883. Прейзето ca: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102883>
 145. Tyagi, N. (2020). 22. 06. 2024, Прейзето ca: <https://www.analyticssteps.com/blogs/6-major-branches-artificial-intelligence-ai>
 146. Valtiner, D., & Reidl, C. (2021). On change management in the age of artificial intelligence: a sustainable approach to overcome problems in adapting to a disruptive, technological transformation. *Journal of Advanced Management Science*, 9(3).
 147. Van Roy, V. (2020). *AI watch-national strategies on Artificial Intelligence: A European perspective in 2019* (No. JRC119974). Joint Research Centre.
 148. Vărzaru, A. A. (2022). Assessing Artificial Intelligence Technology Acceptance in Managerial Accounting. *Electronics*, 11(14), 2256. Прейзето ca: <https://doi.org/10.3390/electronics11142256>
 149. Vasconcelos, M. A., & Santos, R. (2023, Maj 1). *Enhancing STEM Learning with ChatGPT and Bing Chat as Objects to Think With: A Case Study*. Retrieved from Cornell University: Прейзето ca: <https://arxiv.org/abs/2305.02202>
 150. Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The journal of strategic information systems*, 28(2), 118–114.
 151. Visengine. (2023). *Visengine Top 10 Augmented Reality, Mixed Reality & Virtual Reality Trends for 2022*. 27. jun 2024, Прейзето ca: <https://visengine.com/top-10-virtual-reality-trends-for-2022/>
 152. Wairimu, B. (2023, Februar 26). *Linkedin*. Retrieved from The Future of Artificial Intelligence: Opportunities and Challenges: Прейзето ca: <https://www.linkedin.com/pulse/future-artificial-intelligence-opportunities-brenda-wairimu>
 153. Walch, K. (2019). Are we heading for another AI winter soon? *Forbes*. Прейзето ca: <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/10/20/are-we-heading-for-another-ai-winter-soon/#783bf81256d6>.
 154. Walter, Y. (2024). Embracing the future of Artificial Intelligence in the classroom: the relevance of AI literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1), 15. Прейзето ca: <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00448-3>
 155. White, J., Fu, Q., Hays, S., Sandborn, M., Olea, C., Gilbert, H., Elnashar A., Spencer-Smith J. in Schmidt, D. C. (2023). *A prompt pattern catalog to enhance prompt engineering with*

- chatgpt*. Cornell University. Преузето са: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.11382>
156. Wilson, C., Hargreaves, T., & Hauxwell, R. B. (2017). Benefits and risks of smart home technologies. *Science Direct*. pp. 72-83. 7. aprila 2025 Преузето са: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.047>
157. World Economic Forum (2025). The Future of Jobs Report 2025 (The Future of Jobs Report 2025). <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/>
158. Zhang, C., Zhu, W., Dai, J., Wu, Y., & Chen, X. (2023). Ethical Impact of Artificial Intelligence in Managerial Accounting. *International Journal of Accounting Information Systems*, 49, 1-44. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2023.100619>
159. Zuhlke, S. (20. maj 2022). What is a Robot? Преузето са: National Geographic: <https://education.nationalgeographic.org/resource/what-robot>.

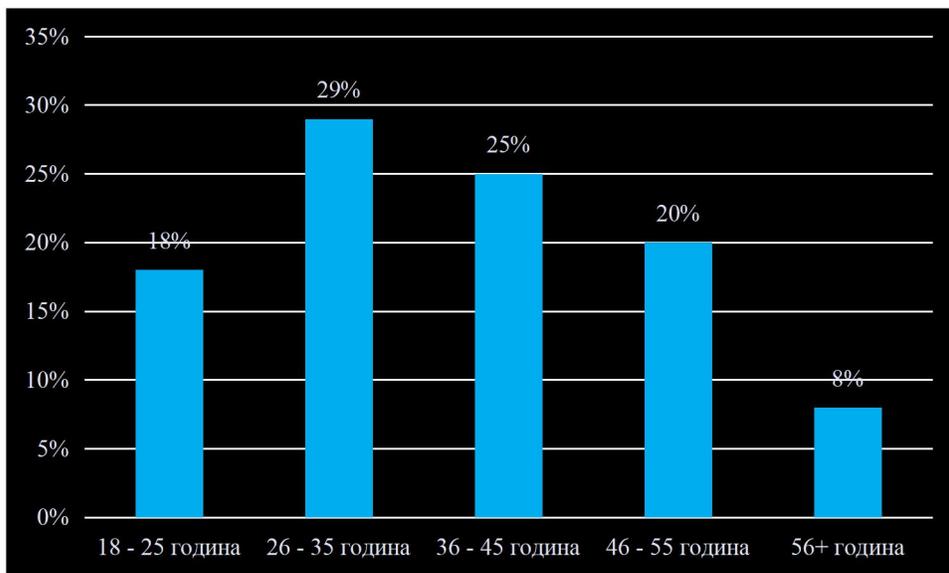
12. ПРИЛОЗИ

Прилог 1: Списак Графикона

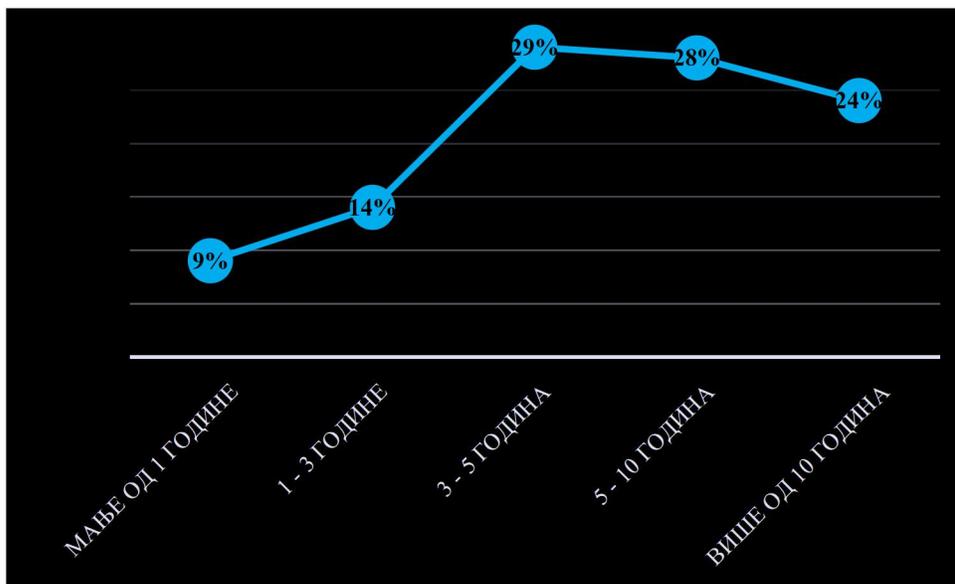
График 4.2.1.1 Полна структура учесника у проценима	96
График 4.2.1.2 Структура узорка према старости	96
График 4.2.1.3 Структура узорка по образовању	96
График 4.2.1.4 Структура узорка према области рада/студија	97
График 4.2.1.5 Структура узорка у односу на познавање математичких модела	97
График 4.2.1.6 Структура узорка по примени математичких модела у раду	98
График 4.2.1.7 Ниво практичне примене и корисности математичких модела	98
График 4.2.1.8 Структура узорка према врсти примењених математичких модела	99
График 4.2.1.9 Процент испитаника по областима примене	99
График 4.2.1.10 Ниво коришћења различитих алата/софтвера за математичко моделовање	100
График 4.2.1.11 Ниво и врста изазова у коришћењу математичких модела	100
График 4.2.1.12 Ниво и учесталост побољшања математичких модела	101
График 4.2.1.13 Ниво задовољства испитаника резултатима математичког моделовања	101

ПРИЛОГ 2: Анкетни упитник: Употреба вештачке интелигенције у пословању

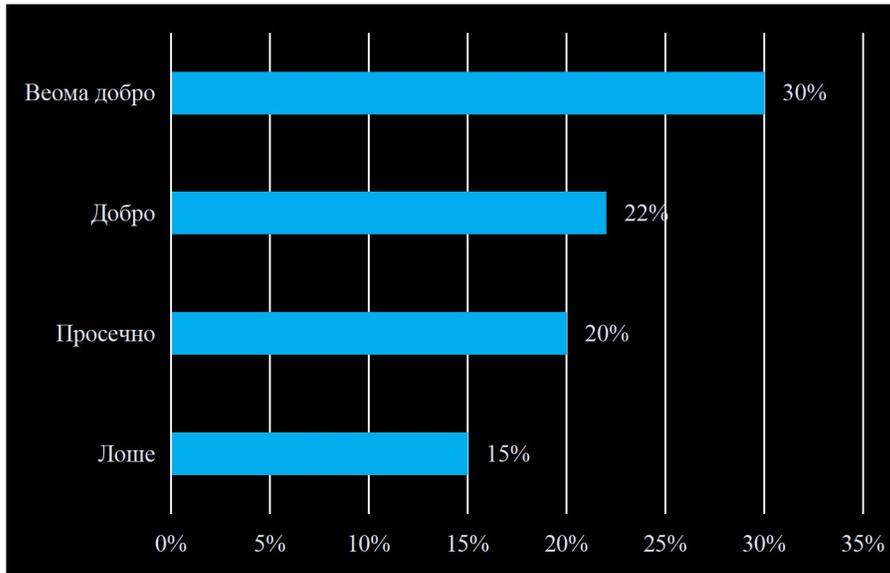
П1: Колико имате година?



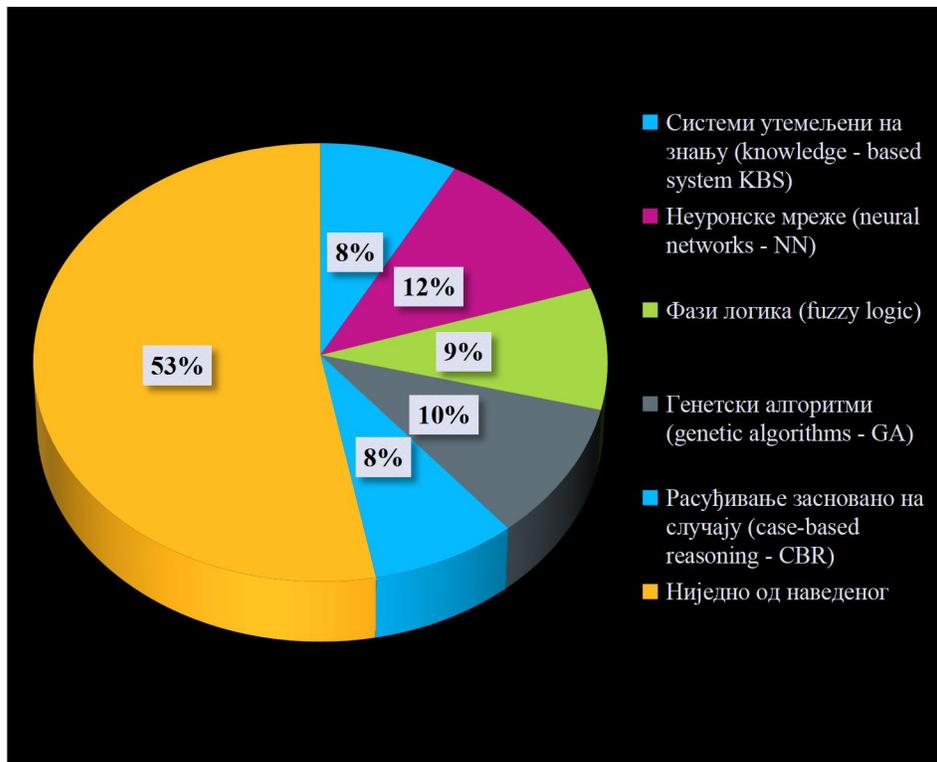
П2: Колико дуго сте запослени у предузећу?



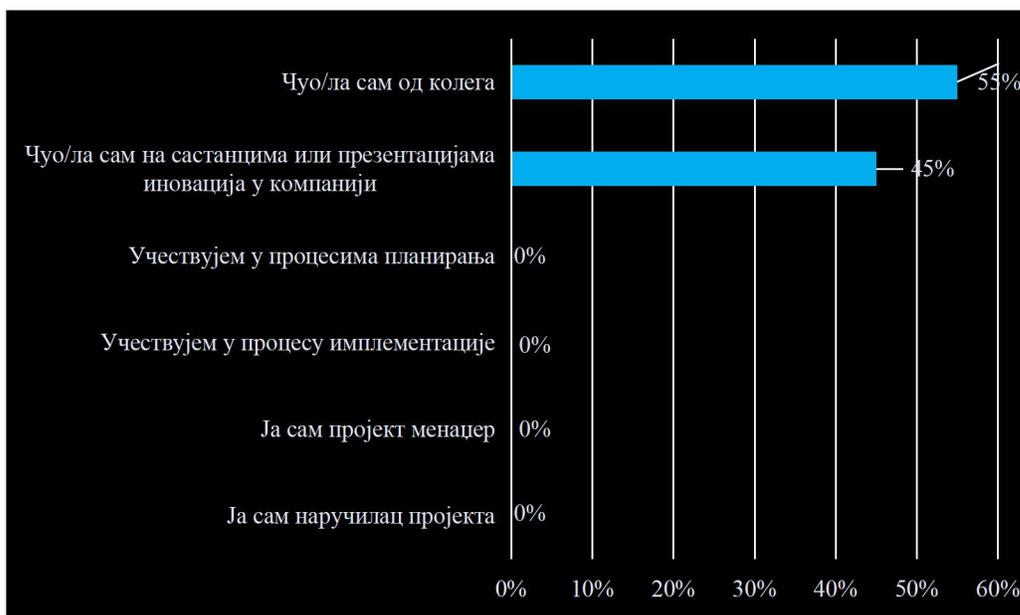
П3: Како бисте оценили своје знање о вештачкој интелигенцији?



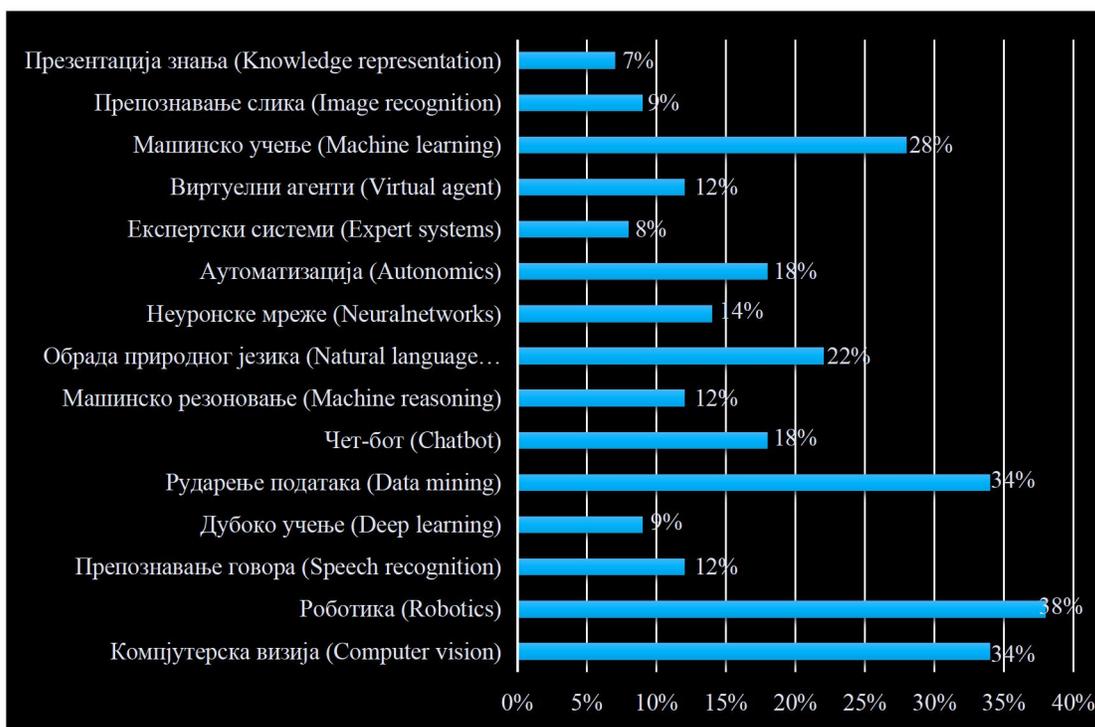
П4: Које технике вештачке интелигенције познајете?



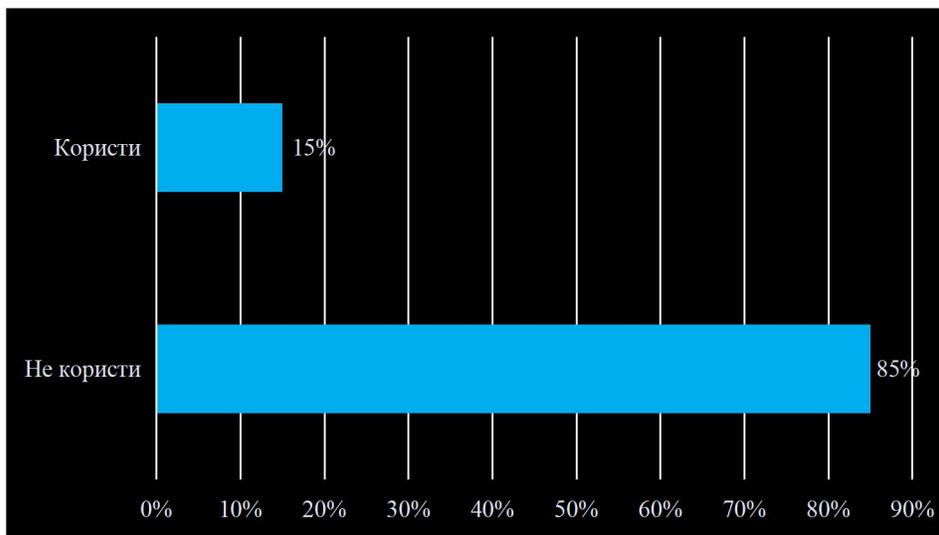
П5: Начин упознавања са увођењем нових технологија?



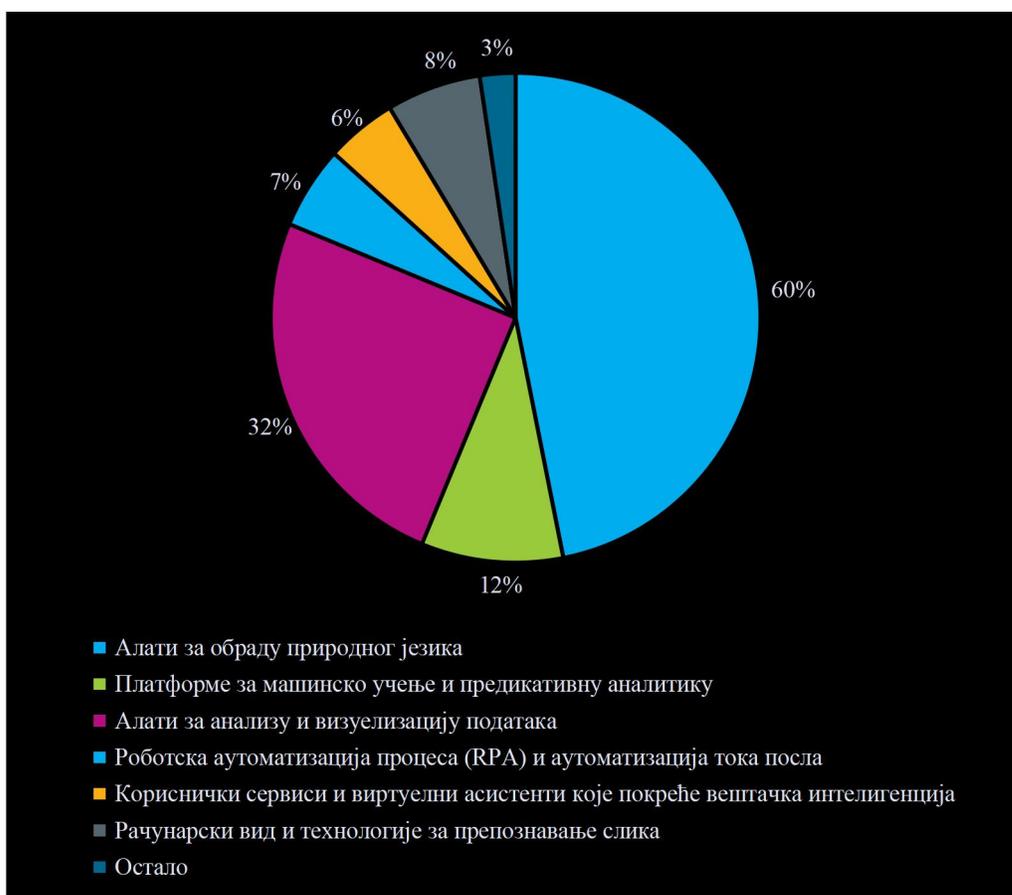
П6: Која подручја вештачке интелигенције познајете? (могуће је више одговора)



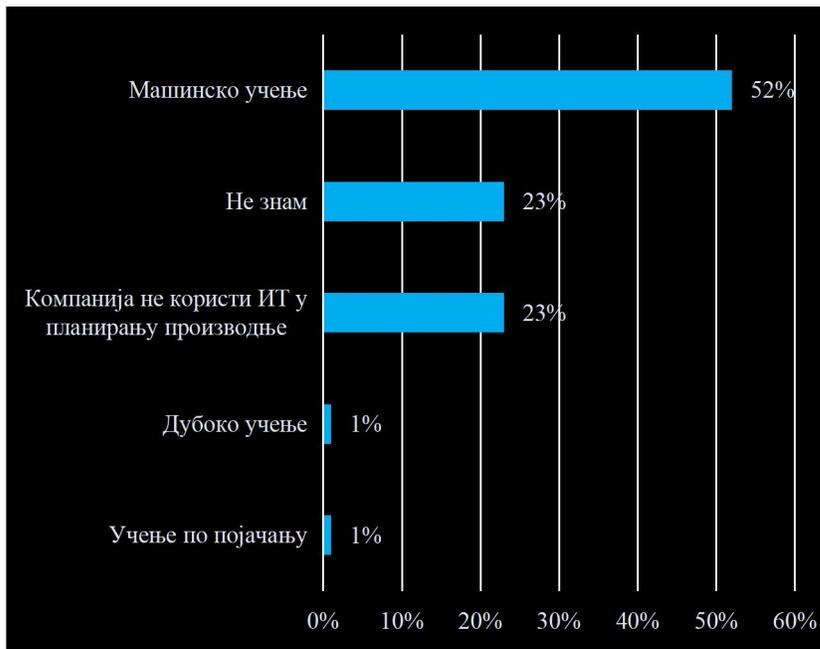
П7: Да ли компанија користи алате или технологије вештачке интелигенције?



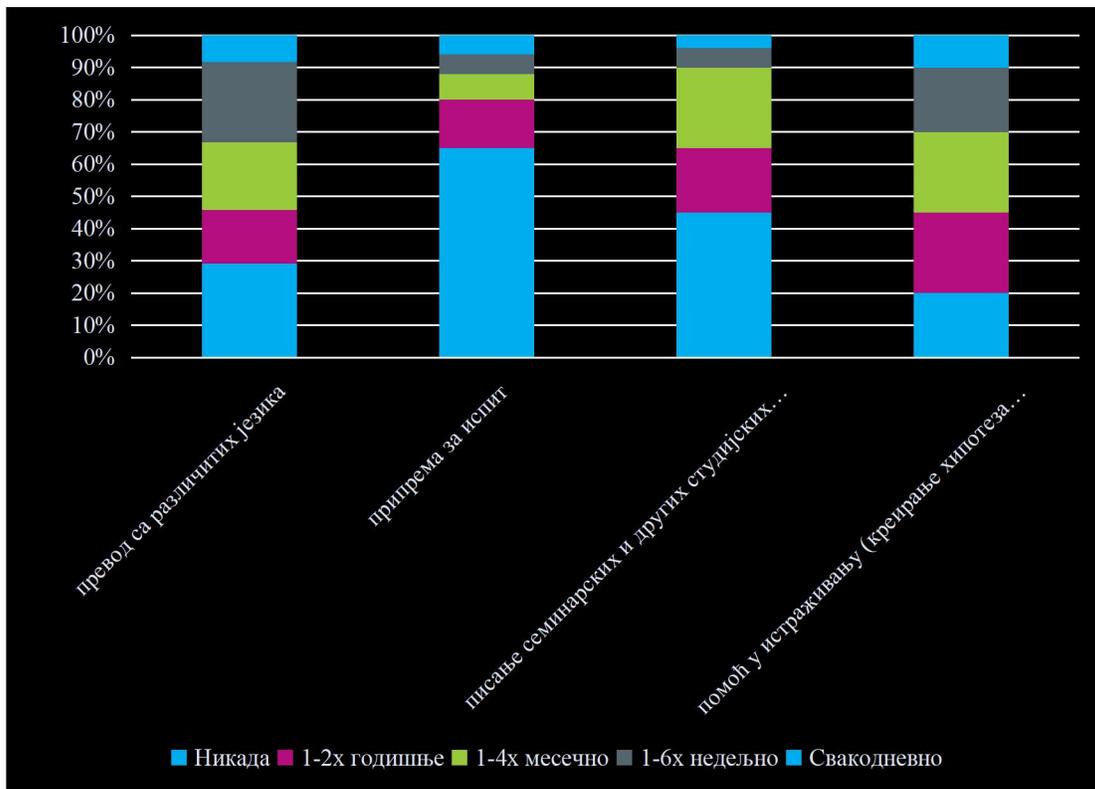
П8: Које ВИ технологије користите или планирате да користите у својој области/сектору? (Могуће је више одговора)



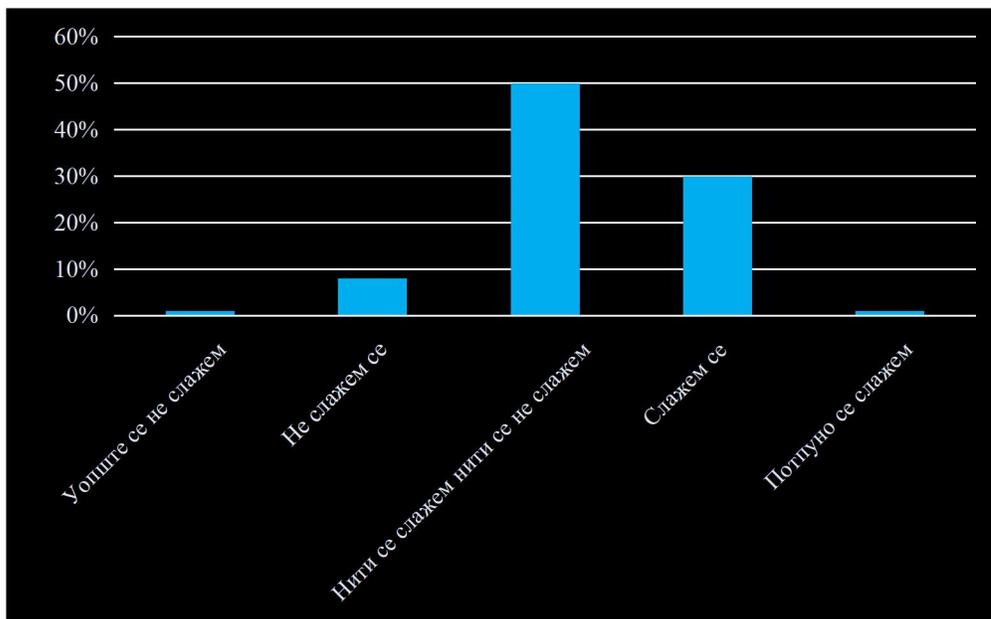
П9: Које ВИ технологије користите?



П10: У које сврхе употребљавате ChatGPT?



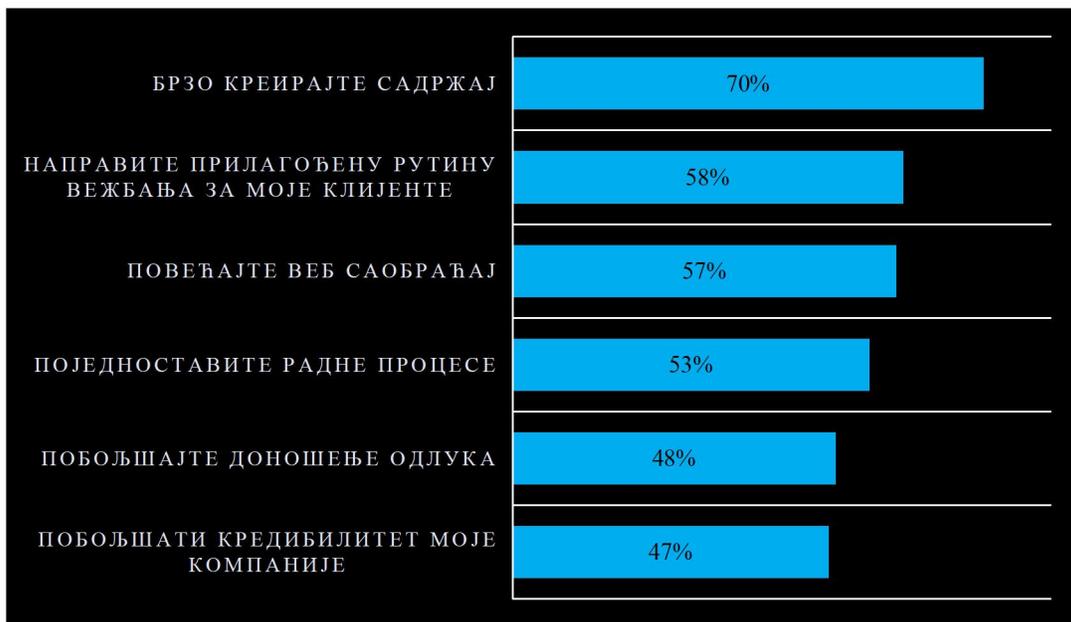
П11: Колико верујете у садржаје добијене ChatGPT?



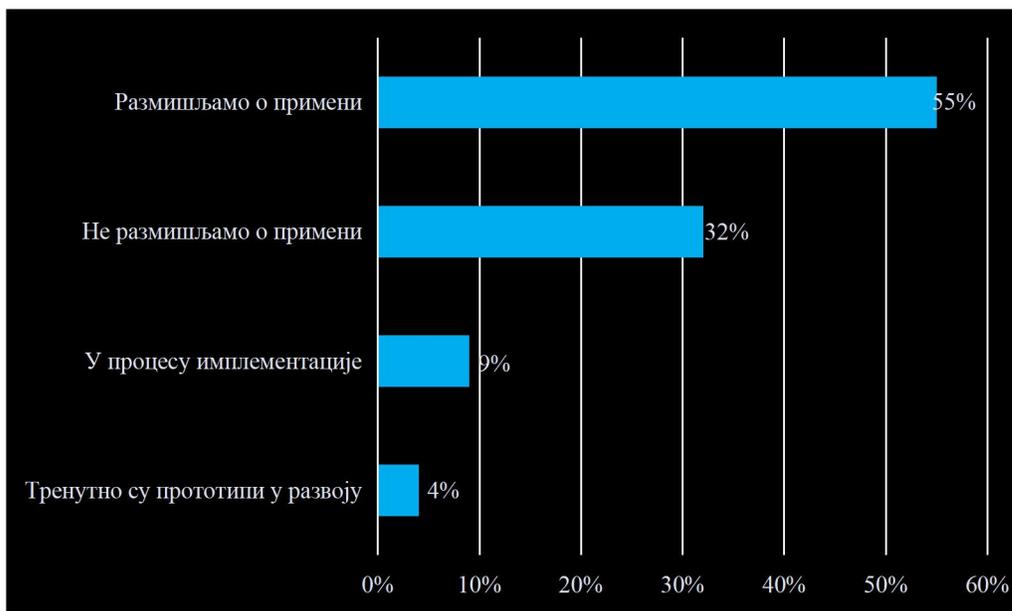
П12: Колико власници предузећа верују да ChatGPT помаже њиховом предузећу?



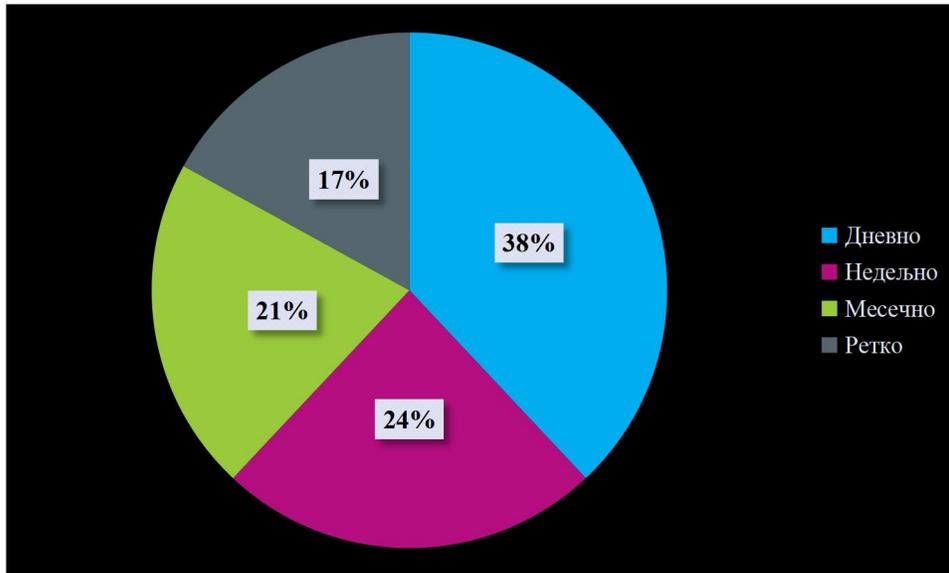
П13: Позитивни утицај ChatGPT на предузећа?



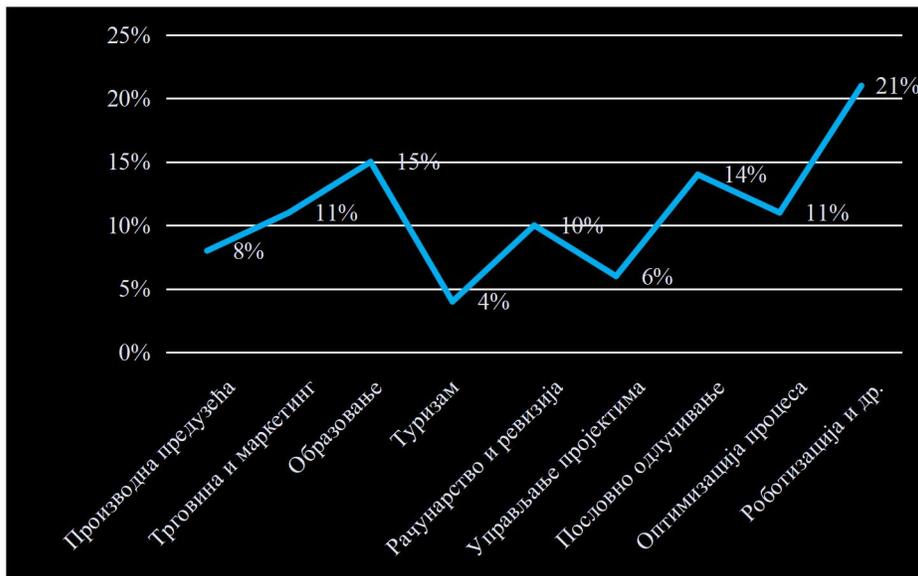
П14: Компаније које не користе ВИ технологије и фазе имплементације?



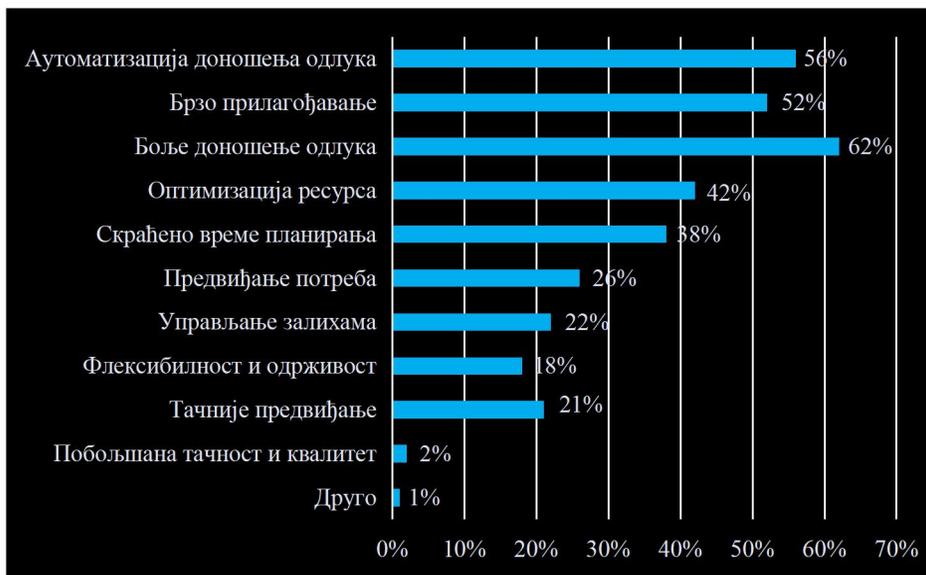
П15: Колико често користите алате или технологије вештачке интелигенције у свом раду?



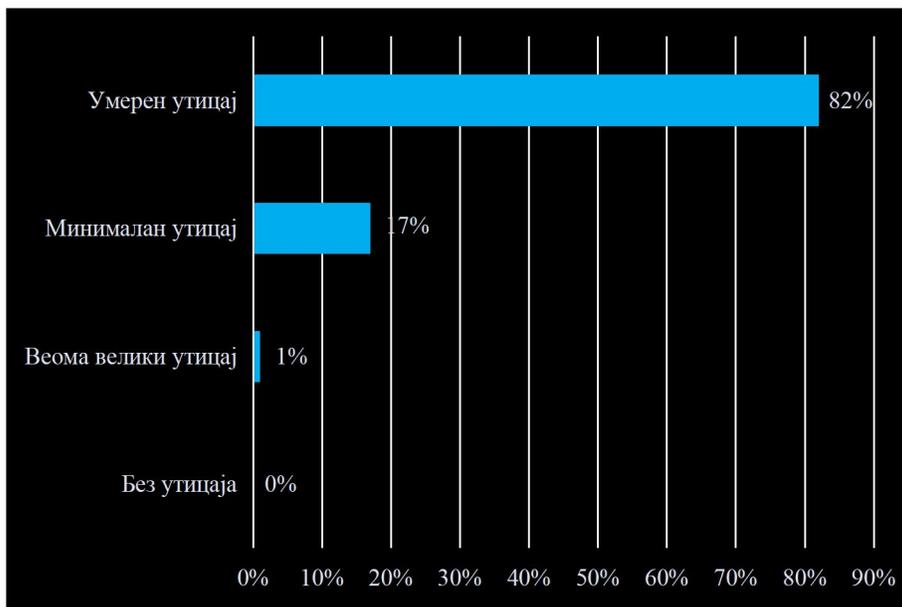
П16: Области примена вештачке интелигенције:



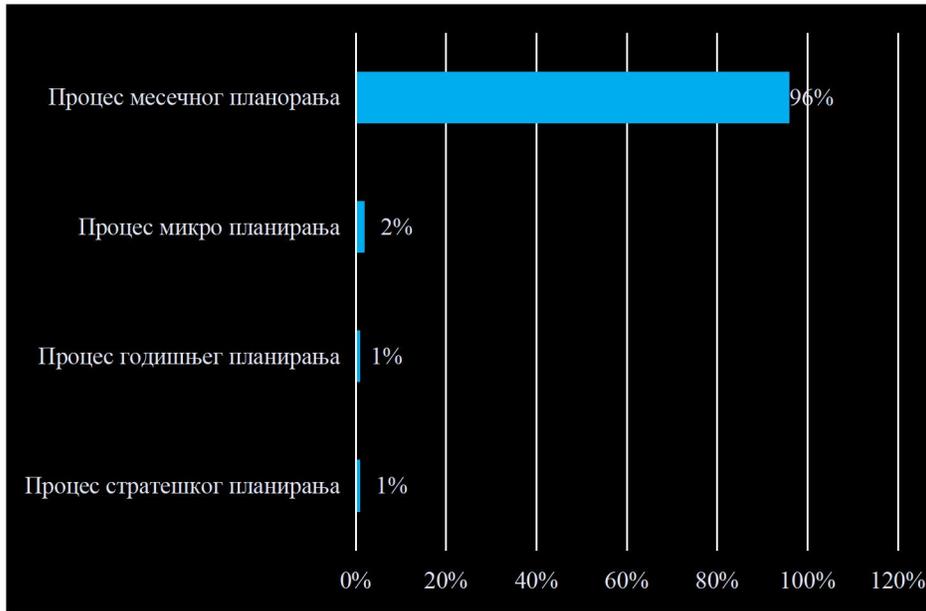
П17: Користи које компаније добијају коришћењем вештачке интелигенције су заиста бројне, али у већини случајева то су: аутоматизација доношења одлука, брза адаптација и боље доношење одлука и многе друге.



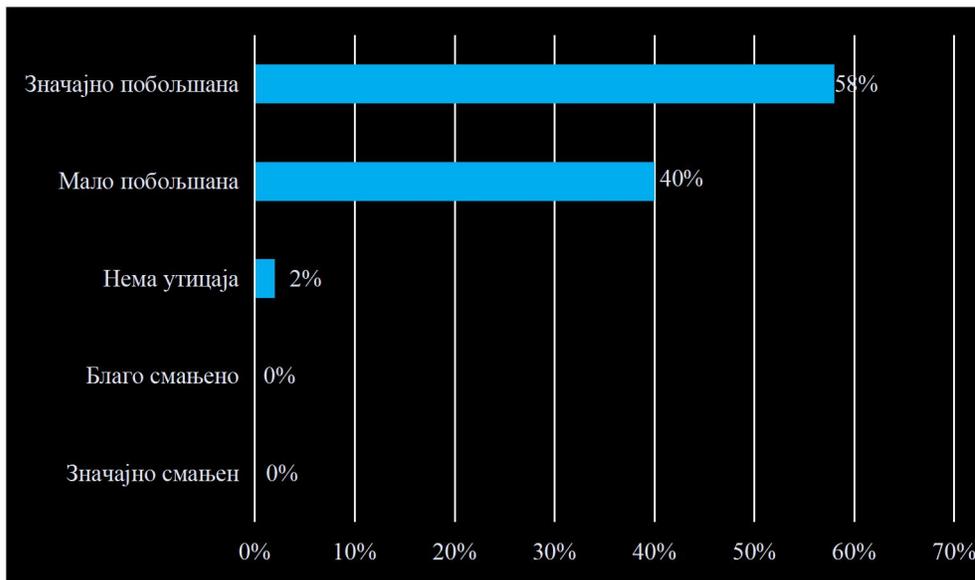
П18: Утицај ВИ на процес доношења одлука?



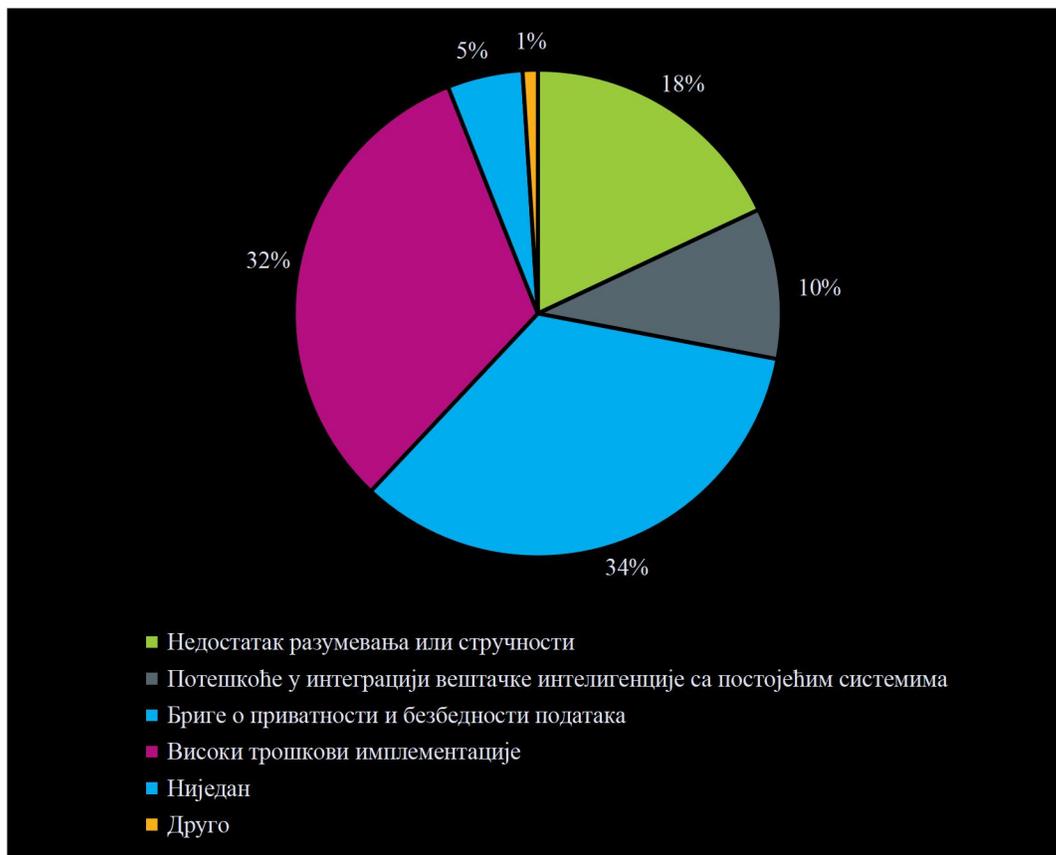
П19: ВИ технологије за планирање



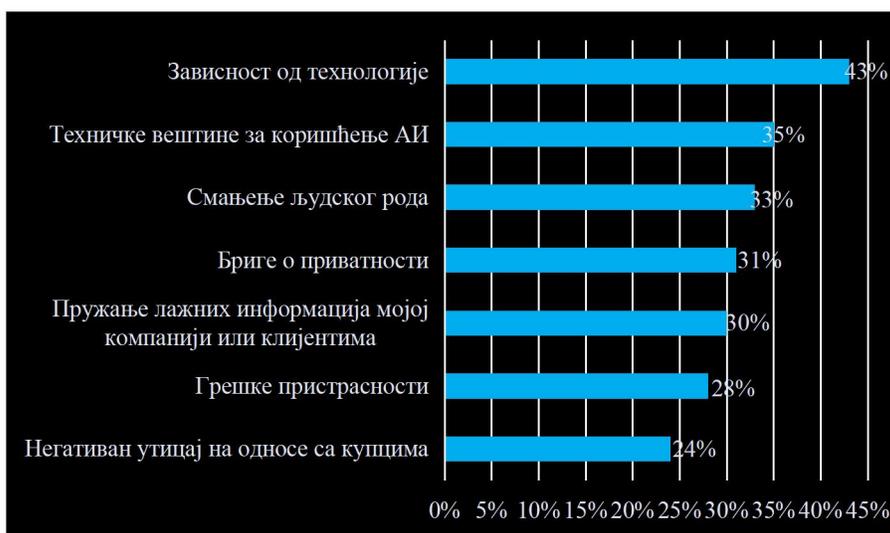
П20: Како је употреба вештачке интелигенције утицала на вашу радну ефикасност?



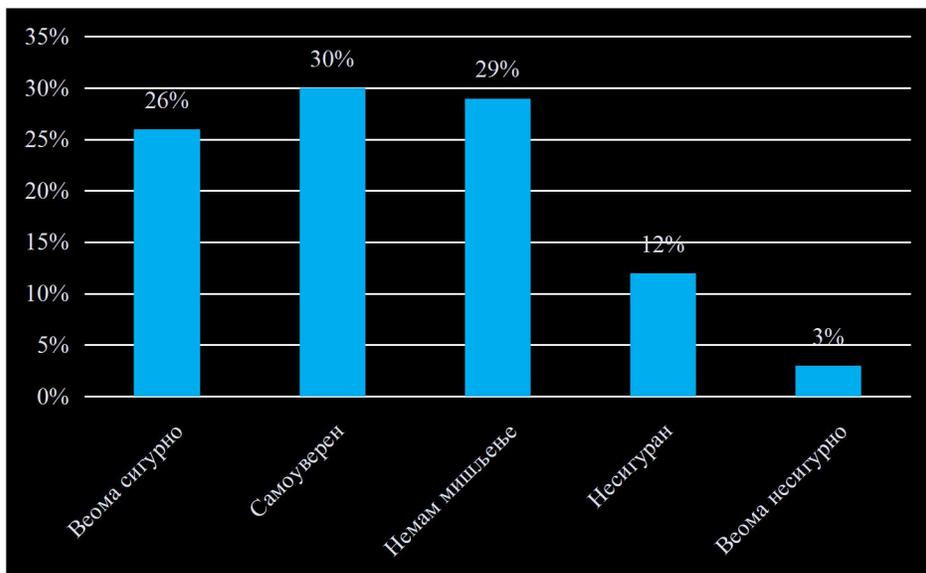
П21: На које изазове сте се сусрели када сте користили алате вештачке интелигенције у свом раду? (Могуће је више одговора)



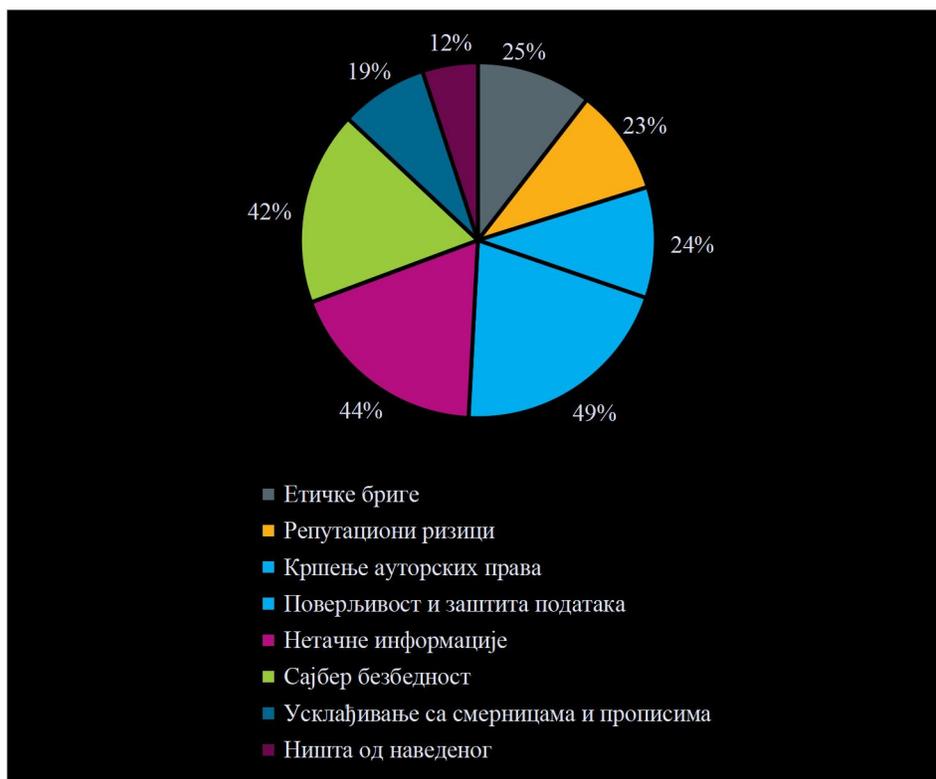
П22: Забринутост корисника у вези са употребом вештачке интелигенције.



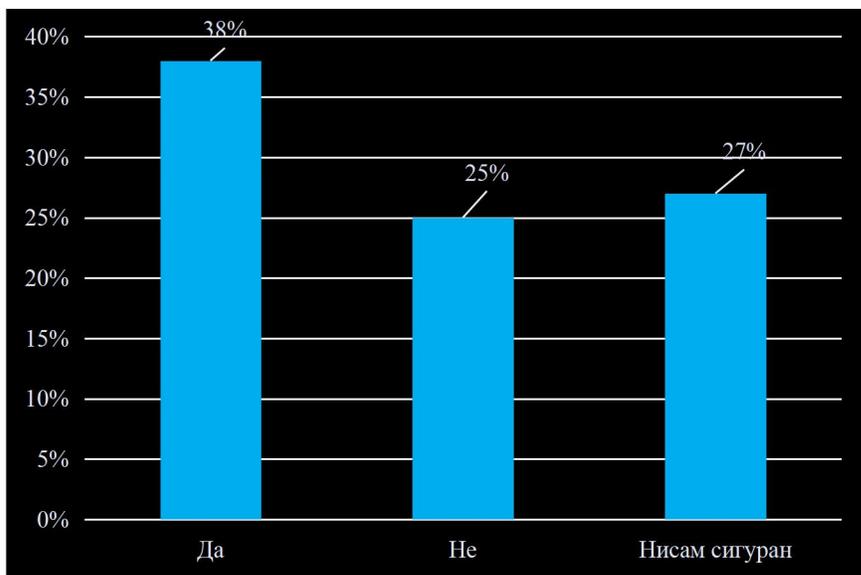
П23: Колико сте сигурни да су ВИ алати које користите без пристрасности и усклађени са етичким смерницама?



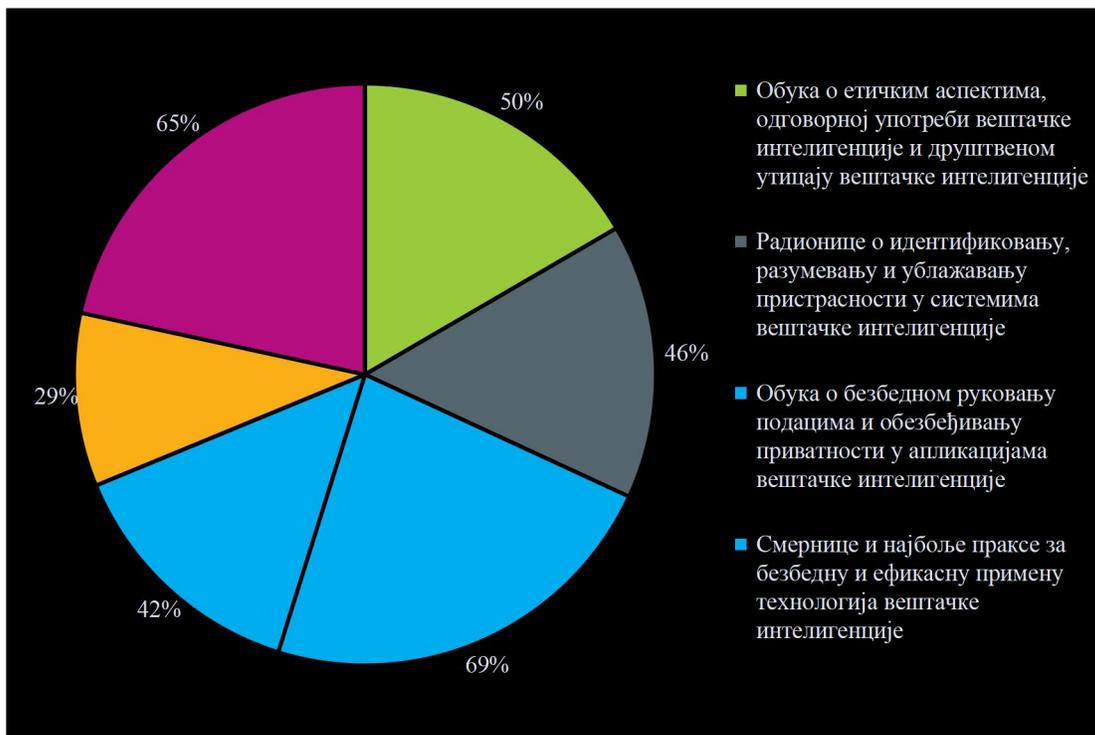
П24: Шта мислите са којим се од следећих ризика суочава наша компанија због употребе вештачке интелигенције? (Могуће је више одговора)



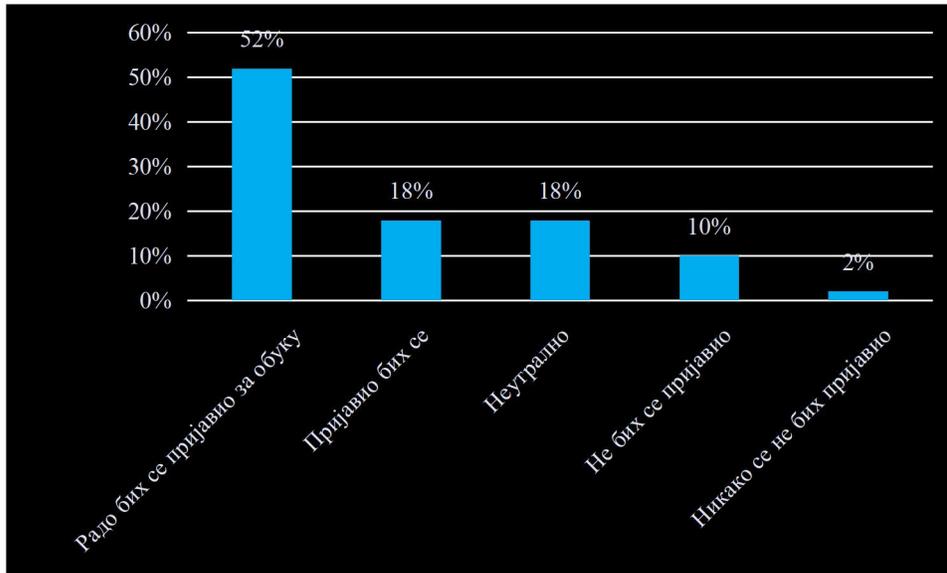
П25: Да ли мислите да компанија пружа адекватну обуку о етичкој и безбедној употреби вештачке интелигенције?



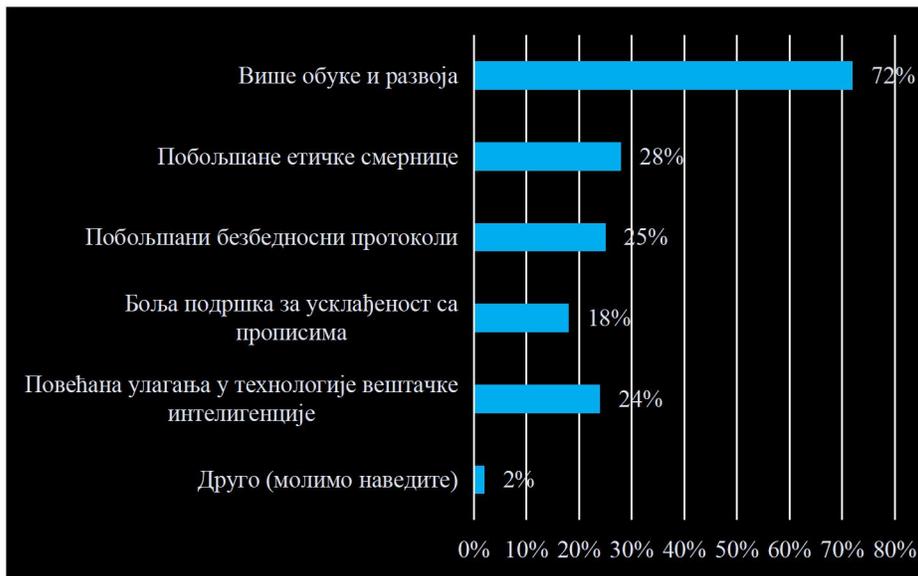
П26: Која врста обуке би вам највише помогла? (Могуће је више одговора)



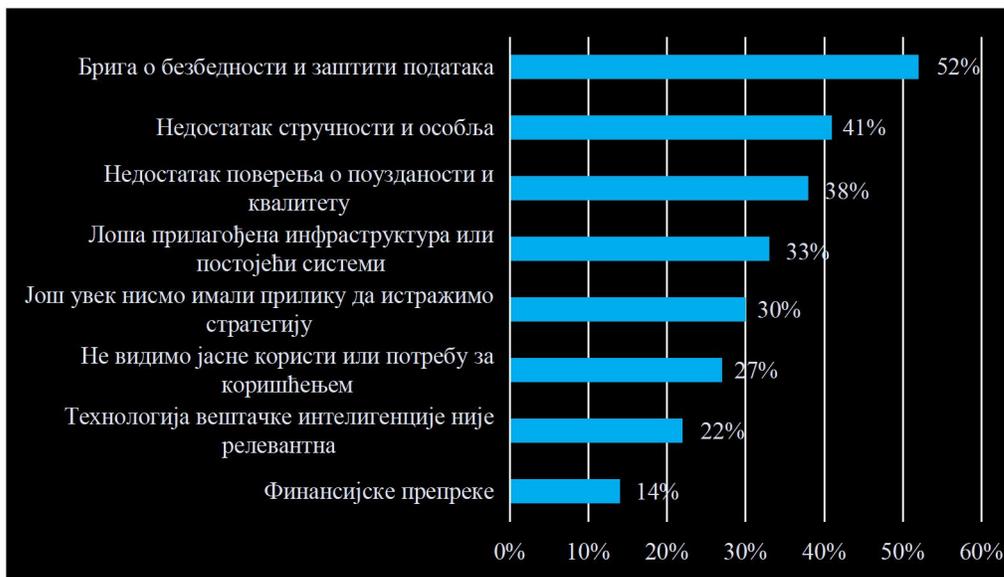
П27: Шта је са евентуалном преквалификацијом или додатном едукацијом запослених због утицаја вештачке интелигенције?



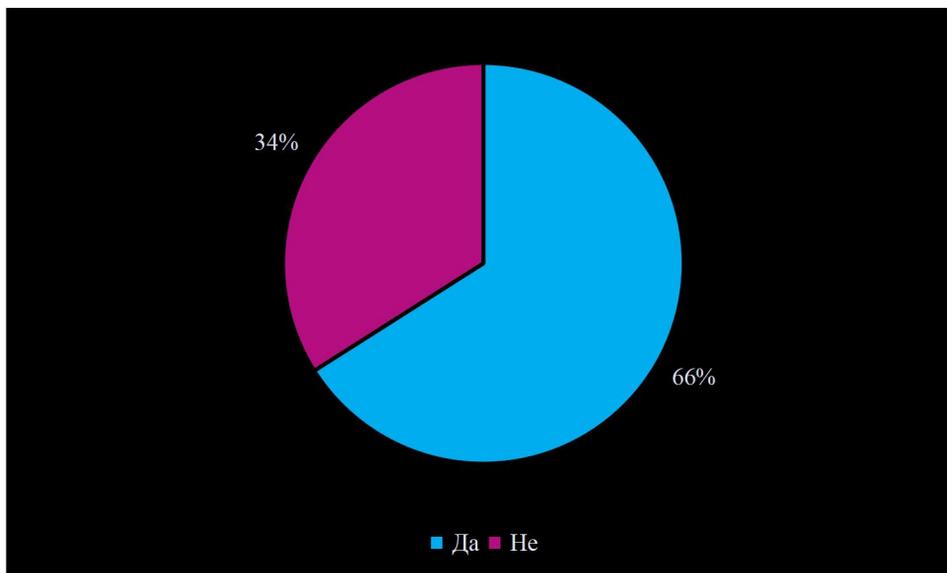
П28: Која побољшања предлагате за коришћење алата вештачке интелигенције у компанији? (Могуће је више одговора)



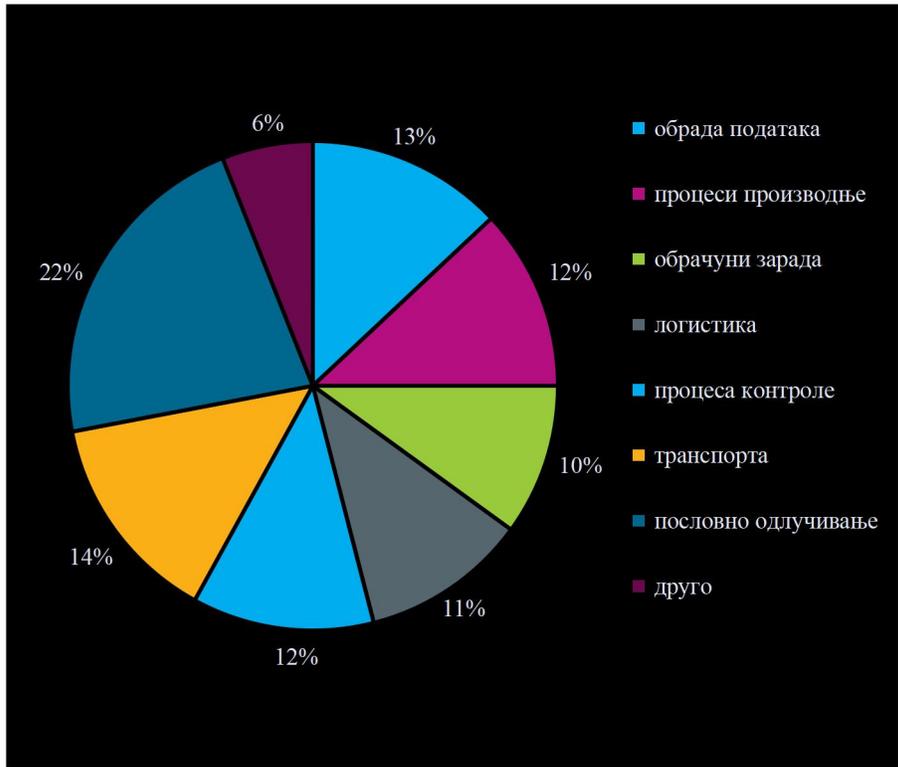
П29: Разлози за некористићење ВИ технологија.



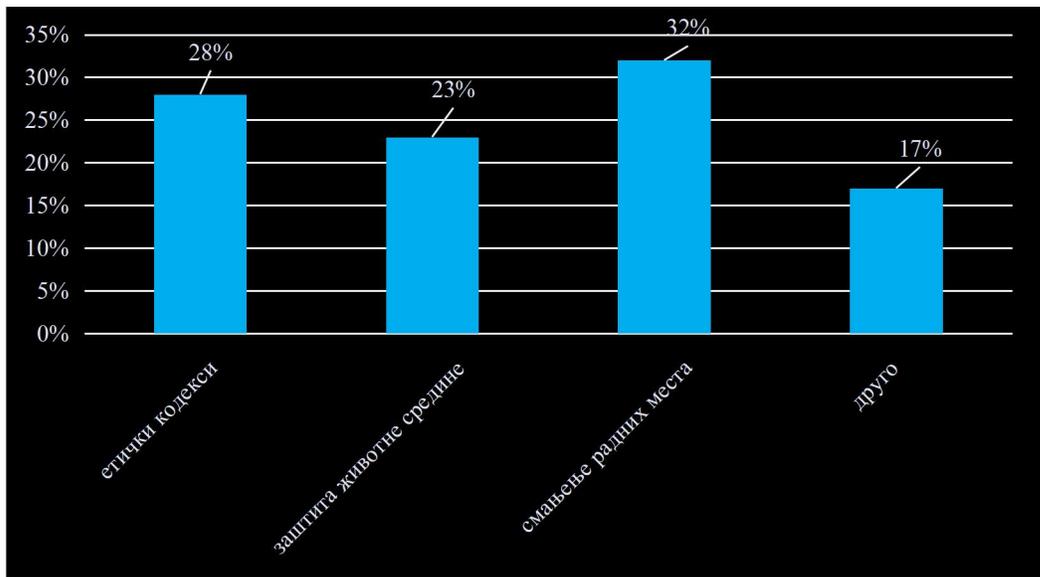
П30: Да ли видите потенцијал за повећање употребе вештачке интелигенције у вашем одељењу? Ако јесте, наведите области у којима би ВИ могла бити корисна (размотрите области као што су аутоматизација процеса, интеракција са клијентима или напредна аналитика података).



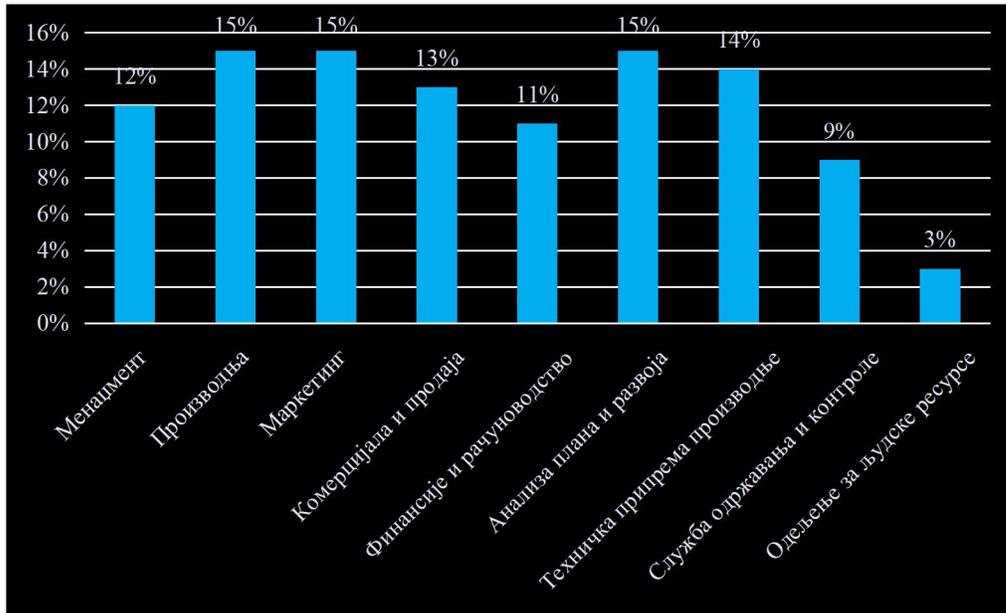
П31: Који конкретни задаци или активности мислите да ће бити аутоматизовани уз помоћ вештачке интелигенције?



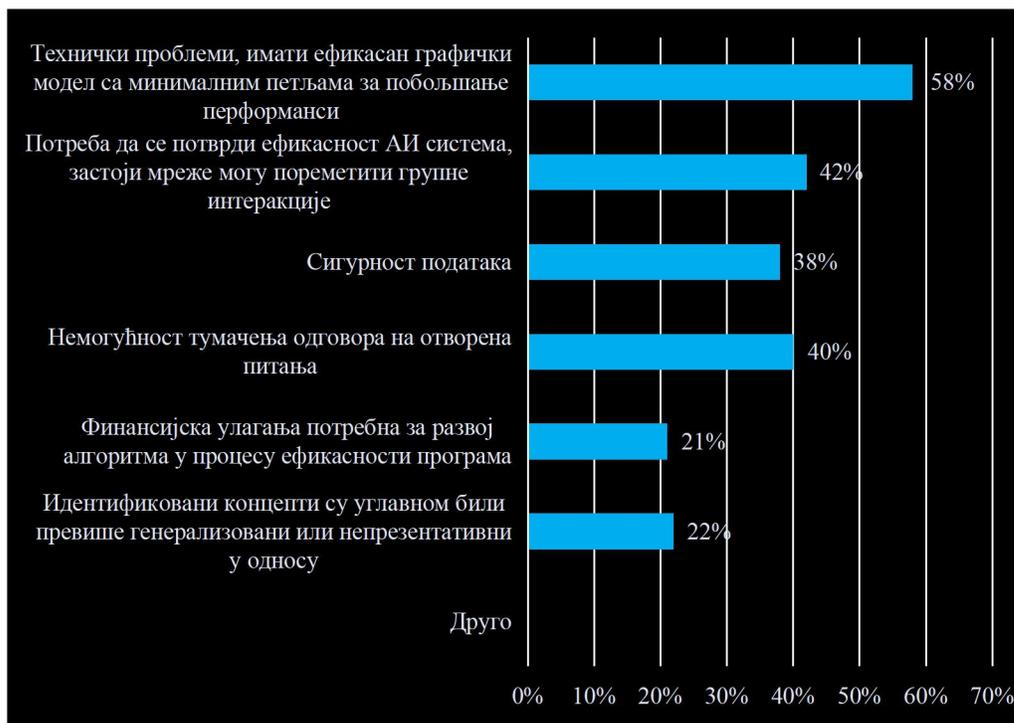
П32: Које изазове очекујете у даљем увођењу вештачке интелигенције (за око 5 година)?



П33: Које одељење најбоље описује вашу примарну улогу у компанији?



П34: Изазови и потешкоће у примени ВИ



Прилог 2: Списак Слика

Слика 1.1.1 Шематски приказ методологије постављених хипотеза дисертације	9
Слика 1.1.2 Графички приказ методологије истраживања дисертације	10
Слика 1.1.3 Структура истраживања дисертације	13
Слика 2.1.1 Дигитална трансформација Гугл претрага током година	14
Слика 2.2.1 Број земаља са стратегијом Индустије 4.0	17
Слика 2.2.2 Глобална употреба Иот-а у периоду 2019-2030. године	18
Слика 2.2.3 Градивни елементи Иот-а	19
Слика 2.2.4 Пројекција броја повезаних Иот уређаја	19
Слика 2.2.5 Употреба Иот у паметним домовима	20
Слика 2.2.6 Дизајнирање паметних кућа	20
Слика 2.2.7 Интернет конекција у периоду 2018-2024. године	21
Слика 2.3.1 Процент испитаника према полу	26
Слика 2.3.2 Старосна структура испитаника	26
Слика 2.3.3 Образовни профил испитаника	26
Слика 2.3.4 Радно ангажовање испитаника	27
Слика 2.3.5 Ниво коришћења информационих технологија	27
Слика 2.3.6 Коришћење Е-управе за добијање информација	27
Слика 2.3.7 Ефикасност приступа информацијама	28
Слика 2.3.8 Резултати и користи дигиталних технологија	28
Слика 2.3.9 Приказ нивоа усвајања, стартап предузећа инвестиција и броја патената	29
Слика 3.3.1 Почети развоја вештачке интелигенције	37
Слика 3.4.1 Четири врсте вештачке интелигенције	40
Слика 3.5.1 Области вештачке интелигенције	41
Слика 3.5.2 Области вештачке интелигенције	43
Слика 3.5.3 Приказивање дубоких неуронских мрежа	46
Слика 3.5.4 Разлика између машинског учења и дубоког учења.	47
Слика 3.5.5 Приказ неуронске мреже	48
Слика 3.5.6 Демонстрација експертног система у пракси	50
Слика 3.5.7 Обрада природног језика, демонстрација	52

Слика 3.5.8 Поређење Буловог и меког логичког	53
Слика 3.7.1 Употреба ВИ у предузећима	59
Слика 3.7.2 Кпи предлози за ВИ радар	62
Слика 3.7.3 Кпи предлози за ВИ радар	64
Слика 3.7.4 Коришћење аутоматизације за стварање туристичких искустава	66
Слика 3.7.5 Недостаци вештачке интелигенције	86
Слика 3.9.1	
Слика 4.0.1 Оптимизација реалног објекта помоћу модела	94
Слика 4.1.1 Структура математичких модела.....	95

Прилог 3: Списак Табела

Табела 2.1.1 Подаци о компјутерској писмености (Републички Завод За Статистику 2024) ..	16
Табела 2.3.1 Стање земаља света обзиром на Индустрију 4.0	29
Табела 3.3.1 Главне прекретнице у развоју Вештачке Интелигенције кроз историју	35
Табела 3.7.1 Популарни Онлине алати и њихова подршка у складу са специфичним функционалностима	72
Табела 3.7.2 Предности и недостаци вештачке интелигенције	85

РАДНА БИОГРАФИЈА КАНДИДАТА

Костадинка Н. Стојановић је рођена 30. септембра 1997. године у Приштини. Основну школу је завршила у Лапљем селу са одличним успехом. Средњу медицинску школу Приштина, завршила је у Лапљем селу. Године 2017. уписује Факултет за математику и рачунарске науке Алфа БК Универзитета, где стиче звање дипломирани информатичар са просечном оценом 8,00.

Након тога са завршава мастер студије на Факултету за математику и рачунарске науке Алфа БК Универзитета у Београду са просечном оценом 9,25 и стиче звање мастер информатичар. Године 2022. уписује докторске студије на студије на Факултету за математику и рачунарске науке Алфа БК Универзитета у Београду где је положила све испите предвиђене наставним планом и програмом студија са просечном оценом 9.30.

Током свог радног искуства обављала је одговорне дужности и послове у РТВ-има на простору централног Косова. Школске 2019/20. године изабрана је у звање демонстратора ван радног односа за ужу научну област Рачунарске науке на Алфа БК Универзитету у Београду. Тренутно ради као наставник информатике и рачунарства у Пољопривредној школи и Гимназији Липљан.

Кандидаткиња је објавила више од 40 научних радова у часописима и зборницима конференција националног и међународног значаја.

Из области дисертације:

Категорија	M22	M23	M24	M33	M52
Број радова	1	1	1	34	3
Бодови	5	3	2	1	1,5
Укупно:	5	3	2	34	4.5

Области њеног научно-истраживачког интересовања су: рачунарске науке математички модели, информационо-комуникационе технологије, сајбер безбедност, интернет ствари, паметни градови, вештачка интелигенција, е-учење (учење на даљину), квалитет у образовању и сл.

Неудата.



Алфа БК Универзитет

ИЗЈАВА МЕНТОРА О ПРОЦЕНИ ОРИГИНАЛНОСТИ И САГЛАСНОСТИ ЗА ПРЕДАЈУ УРАЂЕНЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Овим изјављујем да сам након прегледаног рукописа докторске дисертације сагласан да кандидат **КОСТАДИНКА Н. СТОЈАНОВИЋ** може да преда Служби за последипломске студије Универзитета урађену докторску дисертацију под називом:

НОВЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ РАЧУНАРСКИХ АЛАТА И МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА

»

ради организације њене оцене и одбране и да иста садржи оригиналан научни допринос који се састојиу теоретској, практичној, методолошкој и емпиријској области. Очекивани научни допринос докторске дисертације заснива се на два домена, и то: научном и стручном. Докторска дисертација, својом тематиком, доприноси сагледавању свих релевантних аспеката примене нових рачунарских алата и математичких модела у пракси. Научни резултати докторске дисертације могу се огледати и у научној дескрипцији односно научном тумачењу значаја, места и улоге процеса дигитализације, Индустрије 4.0, Индустрије 5.0, вештачке интелигенције и ИоТ-а, што представља допринос теорији из ове области. У том смислу, теоретски научни допринос докторске дисертације може се видети у класификацији свих познатих истраживања из области дигитализације, Индустрије 4.0, Индустрије 5.0, вештачке интелигенције, ИоТ-а и развоју новог модела примене рачунарских алата и математичких модела у пракси, односно у изради новог оригиналног математичког модела темељеног на знању који ће омогућити поузданије моделирање у пословном процесу. Методолошки аспект доприноса докторске дисертације заснива се на развоју опште прихваћених теоретских концепата и модела, као и практичној примени

рачунарских алата и математичких модела у пракси. Допринос резултата истраживања докторске дисертације се огледа у новом приступу развоја математичког модела са циљем оптимизације постојећих процеса. Очекивана научна оправданост се може огледати и у идентификацији изазова и могућности изазваних у различитим индустријским секторима и процени стратегије и методе која се може искористити да помогне предузећима да преживе и успеју у дигиталном добу. Приступ истраживања у докторској дисертацији представља нови оригиналан начин развоја математичког модела. Научни допринос се остварује у два правца, односно као хеуристички резултат (откривање новог) и као верификаторни резултат (потврђивање научно провереног сазнања). Двојака природа доприноса у области науке може се изразити и кроз епистемолошки и методолошки значај. Резултати истраживања докторске дисертације пружају добру платформу за даљу оптимизацију и унапређење пословних процеса и процедура. Докторском дисертацијом су одређени правци будућих истраживања која требају бити усмерена на верификацију остварених резултата и закључних разматрања у сличним пословним окружењима.

У Београду,



.....
(потпис ментора)



Алфа БК Универзитет

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

1. Потписани: **КОСТАДИНКА Н. СТОЈАНОВИЋ**
2. Број уписа: **6902/2022**
3. Изјављујем да је докторска дисертација под насловом:

**» НОВЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ РАЧУНАРСКИХ АЛАТА И
МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА**

«

- Резултат сопственог истраживачког рада;
- Да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- Да су резултати коректно наведени; и
- Да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

У Београду, 04. Децембра 2025. г.

Потпис докторанта,

.....

АЛФА БК УНИВЕРЗИТЕТ, НОВИ БЕОГРАД, Палмира Таљотија 3, + 381011/2674-164,
www.alfa.edu.rs info@alfa.edu.rs
PIB: 100421838



Алфа БК Универзитет

ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА

Име и презиме: КОСТАДИНКА Н. СТОЈАНОВИЋ

Број уписа: 6902/2022

Студијски програм: Рачунарске науке

Наслов рада:

**» НОВЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ РАЧУНАРСКИХ АЛАТА И
МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА «**

Ментор: Проф. др Небојша Денић

Изјављујем

Да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао за објављивање у репозиторијуму на сајту Алфа БК Универзитета.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање научног звања доктора наука као што су име и презиме, година и место рођења, подаци о стеченим стручним и академским звањима, датум одбране рада и други подаци у функцији транспарентности поступка стицања научног звања.

Ови лични подаци могу се објавити у публикацијама Алфа БК Универзитета и доставити Министарству просвете, науке и технолошког развоја, као и бити доступни сагласно Закону о слободном приступу и информацијама од јавног значаја.

У Београду, 04. Децембра 2025. г.

Потпис докторанта,

.....

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Алфа Бк Универзитет да у Дигитални репозиторијум Универзитета унесе моју докторску дисертацију под насловом:

» **НОВЕ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ РАЧУНАРСКИХ АЛАТА И МАТЕМАТИЧКИХ МОДЕЛА** «

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета, достављену репозиторијуму Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

У Београду, 04. децембар 2025. г.

Потпис аутора,

.....

1. Ауторство. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прерада. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство – делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.