

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

Теодора М. Рајковић

**МОДЕЛИ КЉУЧНИХ ДЕТЕРМИНАНТИ
ПРИХВАТАЊА И ПРИМЕНЕ
ИНФОРМАЦИОНО-КОМУНИКАЦИОНИХ
ТЕХНОЛОГИЈА У ФУНКЦИЈИ
УНАПРЕЂЕЊА УПРАВЉАЊА
ПРОИЗВОДЊОМ**

Докторска дисертација

Београд, 2026. године

UNIVERSITY OF BELGRADE

FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

Teodora M. Rajković

**MODELS OF KEY DETERMINANTS OF
INFORMATION AND COMMUNICATION
TECHNOLOGY ACCEPTANCE AND USE
FOR IMPROVING PRODUCTION
MANAGEMENT**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2026

МЕНТОР:

др Даница Лечић-Цветковић, редовни професор

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Ненад Аничич, редовни професор

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

др Зоран Ракићевић, ванредни професор

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

др Лена Ђорђевић Милутиновић, ванредни професор

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

др Милица Маричић, ванредни професор

Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

др Небојша Бојовић, редовни професор

Универзитет у Београду, Саобраћајни факултет

Датум одбране рада: _____

Изјава захвалности

Желим да изразим искрену и дубоку захвалност својој менторки, проф. др Даници Лечић-Цветковић, на дугогодишњем преданом раду и сарадњи на изради ове докторске дисертације, стручним саветима, несебичној подршци и разумевању током свих година истраживања и писања. Посебно сам захвална на сугестијама и предлозима који су значајно допринели унапређењу квалитета дисертације.

Такође, упућујем захвалност свим члановима Комисије на професионалним коментарима, конструктивним саветима, речима подршке, као и на идејама и сугестијама које су допринеле додатном унапређењу рада.

Посебну захвалност дугујем свим запосленима у производним предузећима у Републици Србији који су својим учешћем у истраживању дали значајан допринос реализацији ове дисертације. Њихова спремност да издвоје време и поделе своја искуства омогућила је да резултати истраживања буду релевантни и поуздани.

Захвалност упућујем и лектору, проф. др Милошу Б. Рајковићу, редовном професору у пензији, на изузетно пажљиво и професионално извршеној лектури, што је значајно допринело језичком и стилском унапређењу докторске дисертације.

Велику захвалност дугујем и својим пријатељима који су ми били подршка током читавог процеса.

Најдубљу захвалност и љубав упућујем својој породици, која ми је током читавог процеса пружала неизмерну подршку, разумевање и охрабрење. Хвала вам на свим лепим речима и љубави коју сте ми несебично даривали.

Посебно место у мом срцу заузима сећање на моју драгу баку Бебу, чија би подршка и радост овим поводом имале немерљив значај.

На крају, желим да изразим дубоку захвалност свом вољеном веренику Марку за безрезервну подршку, разумевање и љубав.

Наслов докторске дисертације: Модели кључних детерминанти прихватања и примене информационо-комуникационих технологија у функцији унапређења управљања производњом

Резиме:

Управљање производњом представља процес трансформације сировина и материјала у производ са додатом вредношћу, на контролисан начин и у складу са политиком производног предузећа. У савременом пословању и управљању производњом, тежи се ка примени технологија за дигитализацију и аутоматизацију производног процеса, односно технологија Индустрије 4.0. Као резултат развоја Индустрије 4.0 настале су савремене дигиталне технологије које су омогућиле дигитализацију и аутоматизацију пословања и производних процеса у циљу унапређења пословних перформанси и резултата, смањења трошкова и грешака, повећања уштеде времена, као и унапређења управљања производњом.

Велики број технологија Индустрије 4.0 примењује се у управљању производњом, а свака од тих технологија има значај и допринос у њеном унапређењу. Из тог разлога, важно је истаћи технологије Индустрије 4.0 које се најчешће користе у управљању производњом. Прегледом и анализом стручне и научне литературе из области савременог управљања производњом, у докторској дисертацији истакнуте су основне предности и недостаци примене технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом, као и најчешће примењене технологије Индустрије 4.0 у пракси: Интернет „интелигентних“ уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци. Те технологије се посматрају као подршка свакодневним активностима које унапређују процесе и утичу на повећање конкурентности предузећа.

Како би се дефинисале детерминанте за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0, важно је одабрати теорију или модел за прихватање технологија који може да се примени у ту сврху. У докторској дисертацији приказан је преглед постојећих теорија и модела који се могу користити. На основу карактеристика, структуре модела и детерминанти, *UTAUT* модел одабран је као највише адекватан модел за ту сврху.

За потребе дефинисања кључних детерминанти које утичу на намеру коришћења најчешће примењених технологија Индустрије 4.0, Интернет „интелигентних“ уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци, примењен је проширени *UTAUT* модел, на

основу којег се могу дефинисати прилагођене стратегије за усвајање одређених технологија.

У докторској дисертацији приказано је истраживање и резултати истраживања спроведеног путем истраживачког упитника – анкете, у производним предузећима у Републици Србији. Прикупљени резултати анализирани су коришћењем моделовања структурних једначина (енгл. *Structural Equation Modelling - SEM*) и могу бити од велике важности за доносиоце одлука и експерте у области. На основу добијених резултата, указано је на значај одређеног скупа детерминанти, тј. кључних детерминанти, које позитивно утичу на усвајање технологија и подршку у развоју стратегије имплементације технологија. Те кључне детерминанте представљају Модел кључних детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом, који се може применити и за дефинисање стратегија увођења технологија.

У управљању производњом, примена технологија Индустрије 4.0 у великој мери утиче на унапређење у управљању производњом, стога је важна примена кључних индикатора перформанси који се користе за мерење унапређења, односно кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације (енгл. *Digital Transformation Key Performance Indicators - DTKPI*). У докторској дисертацији приказан је преглед литературе у вези са применом *DTKPI* у управљању производњом, где резултати показују да се различити *DTKPI* користе у управљању производњом, да је њихова примена у порасту и да на резултате мерења ових *KPI* утиче дигитализација, аутоматизација и примена технологија Индустрије 4.0. Примена *DTKPI* у производним предузећима омогућава доношење правовремених и поузданих стратешких одлука, на основу којих се спроводе технолошке и организационе промене, у циљу унапређења конкурентности, продуктивности и ефикасности пословања. Применом *DTKPI* мере се промене и прате унапређења у управљању производњом, насталих применом технологија Индустрије 4.0. Из тог разлога, у докторској дисертацији представљени су *DTKPI* који могу да се примене као скуп *KPI* за потребе мерења промена у управљању производњом насталих применом технологија Индустрије 4.0 и, на тај начин, чини Модел *DTKPI* у функцији унапређења управљања производњом. Применом овог модела, предузеће може да оцени да ли је имплементација посматране технологије Индустрије 4.0 допринела, и у којој мери, унапређењу управљања производњом.

Кључне речи: управљање производњом, информационо-комуникационе технологије, технологије Индустрије 4.0, унапређење, детерминанте прихватања и примене, *UTAUT* модел, кључни индикатори перформанси, концептуални модел, *DTKPI*.

Научна област: Организационе науке

Ужа научна област: Управљање производњом и услугама

Title of doctoral dissertation: *Models of key determinants of information and communication technology acceptance and use for improving production management*

Abstract:

Production management involves the process of transforming raw materials and components into value-added products in a controlled manner, in accordance with the manufacturing company's policy. In modern business and production management, there is a tendency to apply technologies for digitalization and automation of the production process, i.e., Industry 4.0 technologies. Modern digital technologies have emerged as a result of the Industry 4.0 development. These technologies have enabled the digitalization and automation of business and production processes, aiming to improve business performance and results, reduce costs, decrease errors, increase time savings, as well as improve production management.

Many Industry 4.0 technologies have been applied in production management, and each of these technologies has a significant contribution to its improvement. For this reason, it is important to highlight the Industry 4.0 technologies that are most used in production management. By reviewing and analyzing professional and scientific literature in the field of modern production management, this doctoral research proposal highlights the main advantages and disadvantages of applying Industry 4.0 technology in production management, as well as the most applied Industry 4.0 technologies in practice: the Internet of Things, Artificial Intelligence and Big Data. These technologies are considered enablers of daily activities that improve processes and strengthen the competitiveness of enterprises.

In order to define the determinants of intentions for the acceptance and use of Industry 4.0 technology, it is important to select a theory or model for technology acceptance that can be used for this purpose. This doctoral dissertation presents an overview of existing theories and models that can be used. Based on the characteristics, model structure and determinants, the UTAUT model was selected as the most adequate model.

For the purpose of defining key determinants that impact the intention to use the most applied Industry 4.0 technologies, the Internet of Things, Artificial Intelligence and Big Data, an extended UTAUT model was applied. Based on this model, customized strategies for adopting certain technologies can be defined.

This doctoral dissertation presents the research results of the conducted research through a research questionnaire - survey in manufacturing companies in the Republic of Serbia.

Collected results were analyzed using Structural Equation Modelling (SEM) and can be significant for decision makers and experts from the field. Based on the results obtained, the importance of a certain set of determinants, i.e. key determinants, that positively impact the adoption of technologies and support the development of a technology implementation strategy, is indicated. These key determinants present the Model of key determinants of acceptance and use of Industry 4.0 technologies in the function of improving production management, that can be applied to define technology introduction strategies.

In production management, the application of Industry 4.0 technology significantly contributes to the improvement in production management. Therefore, the application of key performance indicators that are used to measure this improvement, i.e. Digital Transformation Key Performance Indicators (DTKPI), is important. This doctoral dissertation presents a literature review regarding the application of DTKPI in production management. The results show that different DTKPI have been used in production management, that their application is increasing and that the results of measuring these KPIs are impacted by digitalization, automation and the application of Industry 4.0 technologies. The application of DTKPI in manufacturing companies enables timely strategic decisions, based on which technological and organizational changes are implemented, to improve competitiveness, productivity and business efficiency. The application of DTKPI measures changes and monitors improvements in production management resulting from the application of Industry 4.0 technologies. For this reason, this doctoral dissertation presents DTKPI that can be applied as a set of KPI for the purpose of measuring changes in production management resulting from the application of Industry 4.0 technologies. This presents the DTKPI model in the function of improving production management. By applying this model, the company can assess whether the implementation of the observed Industry 4.0 technology has contributed, and to what extent, to the improvement of production management.

Key words: *production management, information-communication technologies, Industry 4.0 technologies, improvement, determinants of adoption and implementation, UTAUT model, key performance indicators, conceptual model, DTKPI.*

Scientific area: *Organizational sciences*

Specific scientific area: *Production and services management*

САДРЖАЈ:

1. УВОД	1
2. НАЦРТ НАУЧНЕ ЗАМИСЛИ ИСТРАЖИВАЊА У ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ	5
2.1. Проблем, предмет и циљ истраживања	5
2.2. Полазне хипотезе у истраживању	9
2.3. Научне методе истраживања	12
2.4. Очекивани научни доприноси истраживања	13
2.5. План истраживања	15
2.6. Структура докторске дисертације	15
3. ИНДУСТРИЈСКЕ РЕВОЛУЦИЈЕ И ЊИХОВ УТИЦАЈ НА УНАПРЕЂЕЊЕ УПРАВЉАЊА ПРОИЗВОДЊОМ	18
3.1. Производња	18
3.2. Управљање производњом	25
3.3. Индустрijска револуција – концепт и значај	28
3.4. Дигитализација и аутоматизација – термин и значај	33
4. ТЕХНОЛОГИЈЕ ИНДУСТРИЈЕ 4.0 И ЊИХОВ УТИЦАЈ НА УПРАВЉАЊЕ ПРОИЗВОДЊОМ	38
4.1. Интернет „интелигентних” уређаја	41
4.2. Сајбер безбедност	42
4.3. Сајбер-физички системи	43
4.4. Рачунарство у „облаку”	44
4.5. Велики подаци и анализа података	45
4.6. Комуникација између машина	47
4.7. Адитивна производња	48
4.8. Роботи	50
4.9. Виртуелна стварност	51
4.10. Проширена стварност	52
4.11. Пословна интелигенција	53
4.12. Машинско учење	55
4.13. Вештачка интелигенција	57
4.14. Дигитални близанац	58
5. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ О ПРИМЕНИ ТЕХНОЛОГИЈА ИНДУСТРИЈЕ 4.0 У УПРАВЉАЊУ ПРОИЗВОДЊОМ	63
5.1. Методологија истраживања	63
5.1.1. Дефинисање истраживачких питања	64

5.1.2.	Селекција научне базе података и преузимање података – методологија прегледа литературе.....	64
5.1.3.	Преглед и селекција радова.....	68
5.1.4.	Анализа радова.....	73
5.2.	Резултати истраживања.....	74
5.2.1.	Карактеристике узорка – анализа применом <i>VOSviewer</i> софтвера и самостална ауторска анализа.....	74
5.2.1.1.	Анализа применом софтвера <i>VOSviewer</i> – кључне речи и кластери	74
5.2.1.2.	Додатна анализа радова	77
5.2.1.3.	<i>VOSviewer</i> и додатна анализа – државе аутора.....	80
5.2.2.	Резултати истраживања одабраних радова.....	83
5.3.	Дискусија резултата.....	94
5.4.	Одабир најзначајнијих и најчешће примењених технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом	106
6.	ТЕОРИЈЕ И МОДЕЛИ ЗА АНАЛИЗУ ДЕТЕРМИНАНТИ ПРИХВАТАЊА И ПРИМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈА У ПРЕДУЗЕЋИМА.....	112
6.1.	Теорија дифузије иновација	113
6.2.	Теорија рационалног избора.....	114
6.3.	Социјално-когнитивна теорија.....	115
6.4.	Модел за прихватање технологије	116
6.5.	Модел употребе персоналног рачунара	117
6.6.	Мотивациони модел	118
6.7.	Теорија планираног понашања.....	119
6.8.	Комбиновани модел <i>TAM</i> и <i>TPB</i>	120
6.9.	Јединствена теорија за прихватање и примену технологије	121
6.10.	Одабир модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија	125
6.11.	Примери примене <i>UTAUT</i> модела.....	128
7.	КЉУЧНИ ИНДИКАТОРИ ПЕРФОРМАНСИ ДИГИТАЛНЕ ТРАНСФОРМАЦИЈЕ У УПРАВЉАЊУ ПРОИЗВОДЊОМ.....	131
7.1.	Перформансе и управљање перформансама.....	132
7.2.	Индикатори перформанси	136
7.3.	Индикатори перформанси у управљању производњом.....	137
7.4.	Кључни индикатори перформанси.....	139
7.5.	Преглед литературе о примени кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације у управљању производњом	140
7.5.1.	Методологија истраживања	141
7.5.2.	Анализа радова.....	142

7.5.3.	Резултати и дискусија	144
8.	ИСТРАЖИВАЊЕ О ПРИМЕНИ ОДАБРАНИХ ТЕХНОЛОГИЈА ИНДУСТРИЈЕ 4.0 У ПРОИЗВОДНИМ ПРЕДУЗЕЋИМА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ.....	152
8.1.	Примена технологија Индустије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији.....	152
8.2.	Методологија истраживања.....	157
8.3.	Резултати истраживања	158
8.3.1.	Дескриптивна статистика и дискусија резултата	159
8.3.1.1.	Први сегмент – основне социо-демографске и ситуационе карактеристике о испитанику	159
8.3.1.2.	Други сегмент – основне карактеристике предузећа	161
8.3.1.3.	Трећи сегмент - заступљеност и лично мишљење о примени технологија Индустије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији.....	165
8.3.1.4.	Четврти сегмент - детерминанте који утичу на примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији.....	171
8.3.2.	Поставка проширеног <i>UTAUT</i> модела за потребе истраживања	174
8.3.2.1.	Детерминанте проширеног <i>UTAUT</i> модела, хипотезе истраживања и структура модела.....	175
8.3.2.1.1.	Детерминанта Очекивани учинак	179
8.3.2.1.2.	Детерминанта Очекивана лакоћа коришћења	179
8.3.2.1.3.	Детерминанта Друштвени утицај.....	180
8.3.2.1.4.	Детерминанта Олакшавајући услови	181
8.3.2.1.5.	Детерминанта Ставови према дигитализацији и аутоматизацији	181
8.3.2.1.6.	Детерминанта Подршка и способности за промене	182
8.3.2.1.7.	Детерминанте Спољашњи и унутрашњи фактори	182
8.3.2.1.8.	Детерминанта Препреке	183
8.3.2.2.	Резултати структурног моделирања и тестирања хипотеза истраживања	185
8.3.2.2.1.	Технологија Интернет „интелигентних” уређаја	186
8.3.2.2.2.	Технологија Вештачка интелигенција.....	189
8.3.2.2.3.	Технологија Великих података.....	191
8.3.2.3.	Закључни резултати и статус хипотеза проширеног <i>UTAUT</i> модела за све три технологије	193
8.3.3.	Дискусија резултата	194
9.	МОДЕЛ КЉУЧНИХ ДЕТЕРМИНАНТИ ПРИХВАТАЊА И ПРИМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈА ИНДУСТРИЈЕ 4.0 У ФУНКЦИЈИ УНАПРЕЂЕЊА УПРАВЉАЊА ПРОИЗВОДЊОМ.....	203
10.	МОДЕЛ КЉУЧНИХ ИНДИКАТОРА ПЕРФОРМАНСИ ДИГИТАЛНЕ ТРАНСФОРМАЦИЈЕ У ФУНКЦИЈИ УНАПРЕЂЕЊА УПРАВЉАЊА ПРОИЗВОДЊОМ....	208

10.1.	<i>DTKPI</i> дигиталне зрелости	210
10.1.1.	<i>DTKPI</i> 1. Стопа усвајања технологија у производњи - <i>Sut</i>	210
10.1.2.	<i>DTKPI</i> 2. Стопа дигитализованих и/или аутоматизованих производних процеса - <i>Sdapp</i>	211
10.2.	<i>DTKPI</i> ефективности	212
10.2.1.	<i>DTKPI</i> 3. Стопа испуњења производног плана - <i>Sipp</i>	212
10.2.2.	<i>DTKPI</i> 4. Укупна ефикасност опреме у производњи - <i>OEE</i>	214
10.2.3.	<i>DTKPI</i> 5. Стопа застоја у производњи – <i>Sz</i>	216
10.2.4.	<i>DTKPI</i> 6. Стопа повреда на раду у производњи – <i>Spr</i>	218
10.2.5.	<i>DTKPI</i> 7. Стопа усклађености емисије гаса CO ₂ у производњи – <i>SEco₂</i>	220
10.3.	<i>DTKPI</i> ефикасности	221
10.3.1.	<i>DTKPI</i> 8. Дужина циклуса производње - <i>Dcp</i>	221
10.3.2.	<i>DTKPI</i> 9. Трошак производње по јединици производа – <i>TRjp_l</i>	223
10.3.3.	<i>DTKPI</i> 10. Стопа искоришћености капацитета средстава за рад у производњи - <i>Siks</i>	225
10.3.4.	<i>DTKPI</i> 11. Стопа ангажовања радника у производњи - <i>Sar</i>	227
10.3.5.	<i>DTKPI</i> 12. Стопа квалитативно неусаглашених производа у производњи - <i>Sknp_l</i>	230
11.	ЗАКЉУЧАК.....	235
	ЛИТЕРАТУРА.....	246
	ПРИЛОЗИ ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ	292
	Прилог 1: Истраживачки упитник - анкета спроведена у производним предузећима у Републици Србији	294
	Прилог 2: Биографија и библиографија аутора докторске дисертације	306
	Прилог 3а: Изјава о ауторству.....	323
	Прилог 3б: Изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада.....	324
	Прилог 3в: Изјава о коришћењу.....	325

СПИСАК ТАБЕЛА:

Табела 1: Списак одабраних и анализираних научних и стручних радова на тему примене технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима (Rajković и сарадници, 2025).....	69
Табела 2: Називи часописа у којима су одабрани радови објављени и број објављених радова по часопису (Rajković и сарадници, 2025).....	77
Табела 3: Број цитата по раду (Rajković и сарадници, 2025)	79
Табела 4: Профил аутора анализираних радова (Rajković и сарадници, 2025)	79
Табела 5: Класификација анализираних радова по методи истраживања (Rajković и сарадници, 2025).....	80
Табела 6: Државе одакле потичу аутори одабраних радова (Rajković и сарадници, 2025).....	82
Табела 7: Приказ кључних речи и сврхе одабраних радова – метода истраживања: студија случаја (Rajković и сарадници, 2025).....	83
Табела 8: Приказ кључних речи и сврхе одабраних радова – метода истраживања: анкета (Rajković и сарадници, 2025).....	87
Табела 9: Приказ кључних речи и сврхе одабраних радова – метода истраживања: преглед литературе (Rajković и сарадници, 2025).....	88
Табела 10: Приказ кључних речи и сврхе одабраних радова – метода истраживања: интервју (Rajković и сарадници, 2025).....	89
Табела 11: Приказ кључних речи и сврхе одабраних радова – метода истраживања: студија случаја и интервју (Rajković и сарадници, 2025).....	89
Табела 12: Приказ кључних речи и сврхе одабраних радова – метода истраживања: студија случаја, интервју и анкета (Rajković и сарадници, 2025)	89
Табела 13: Број и врста технологија Индустрије 4.0 по посматраним радовима (Rajković и сарадници, 2025).....	90
Табела 14: Укупан број појављивања технологија, по врсти технологије, у одабраним радовима (Rajković и сарадници, 2025).....	92
Табела 15: Број комбинација технологија у одабраним радовима (Rajković и сарадници, 2025).....	93
Табела 16: Предности и недостаци примене технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима (Rajković и сарадници, 2025).....	95
Табела 17: Поређење TAM и UTAUT модела (прилагођено према (Ling и сарадници, 2011)).	126
Табела 18: Назив часописа и број објављених радова за анализираних радове, прилагођено према (Janković и сарадници, 2024).....	143

Табела 19: Списак одабраних и анализираних научних и истраживачких радова на тему примене кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације (<i>DTKPI</i>) у производним предузећима, прилагођено према (Janković и сарадници, 2024).....	145
Табела 20: Кључни индикатори перформанси дигиталне трансформације (<i>DTKPI</i>) у управљању производњом, прилагођено према (Janković и сарадници, 2024).....	147
Табела 21: Подаци о методологији истраживања докторске дисертације, прилагођено према (Ракићевић, 2018)	158
Табела 22: Основне социо-демографске и ситуационе карактеристике о испитаницима (Rajković и сарадници, 2025a).....	160
Табела 23: Основне карактеристике производног предузећа у коме је анкетирани запослен .	162
Табела 24: Ниво упознатости, примене и значаја технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.....	166
Табела 25: Ставови испитаника у вези са дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса.....	168
Табела 26: Ставови испитаника у вези са нивоом дигиталне зрелости предузећа у којем су запослени	169
Табела 27: Ставови испитаника у вези са оценама утицаја критеријума за дигитализацију и аутоматизацију производних процеса	170
Табела 28: Ставови испитаника у вези са оценама утицаја препрека за увођење дигитализације пословања и аутоматизације производних процеса	171
Табела 29: Ставови о детерминантама прихватања и примене три најзначајније технологије Индустрије 4.0	173
Табела 30: Детерминанте проширеног <i>UTAUT</i> модела и одговарајући ставови из упитника за три посматране технологије, прилагођено према (Rajković и сарадници, 2025a).....	176
Табела 31: Интерна валидност додатних детерминанти проширеног <i>UTAUT</i> модела – заједничке за све испитиване моделе (Rajković и сарадници, 2025a)	185
Табела 32: Технологија Интернет „интелигентних” уређаја - α , <i>AVE</i> , <i>CR</i> , средња вредност и стандардна девијација за <i>UTAUT</i> детерминанте (Rajković и сарадници, 2025a).....	186
Табела 33: Коначна процена модела за проширени <i>UTAUT</i> модел технологије Интернет „интелигентних” уређаја (Rajković и сарадници, 2025a)	188
Табела 34: Технологија Вештачка интелигенција - α , <i>AVE</i> , <i>CR</i> , средња вредност и стандардна девијација за <i>UTAUT</i> детерминанте (Rajković и сарадници, 2025a)	189
Табела 35: Коначна процена модела за проширени <i>UTAUT</i> модел технологије Вештачка интелигенција (Rajković и сарадници, 2025a)	190
Табела 36: Технологија Великих података - α , <i>AVE</i> , <i>CR</i> , средња вредност и стандардна девијација за <i>UTAUT</i> детерминанте (Rajković и сарадници, 2025a)	191

Табела 37: Коначна процена модела за проширени <i>UTAUT</i> модел технологије Великих података (Rajković и сарадници, 2025a).....	192
Табела 38: Статус тестираних хипотеза за сва три анализирана проширена <i>UTAUT</i> модела..	194
Табела 39: Концептуални модел мерења промена (<i>DTKPI</i>) у управљању производњом насталих применом технологија Индустије 4.0	209
Табела 40: Резултат тестирања хипотеза истраживања докторске дисертације.....	242
Табела 41: Истраживачки упитник	294
Табела 42: Оцене квалитета рада сарадника Теодоре Рајковић.....	311

СПИСАК СЛИКА:

Слика 1: Структура хипотеза истраживања	10
Слика 2: Производња као технолошки процес (а) и као економски процес (б) (Groover, 2007)	19
Слика 3: Систем производње (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015).....	20
Слика 4: Шематски приказ производног система, прилагођено према (Kumar & Suresh, 2006)	22
Слика 5: Општа структура производних процеса, прилагођено према (Swift & Booker, 2013)	23
Слика 6: Класификација производних система (Kumar & Suresh, 2006).....	24
Слика 7: Развој индустријске револуције, прилагођено према (Demir и сарадници, 2019).....	28
Слика 8: Развој технологија и алата од Индустрије 2.0 до Индустрије 4.0, прилагођено према (Jałowicz & Wojtaszek, 2022)	31
Слика 9: Два слоја технологија Индустрије 4.0 (Frank и сарадници, 2019)	40
Слика 10: Веза физичког система и дигиталног модела у Дигиталном близанцу (Roy и сарадници, 2020).....	59
Слика 11: Начин функционисања Дигиталног близанца (Hedberg и сарадници, 2018).....	60
Слика 12: Методологија истраживања прегледа литературе о примени технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом (Rajković и сарадници, 2025)	64
Слика 13: Кораци селекције радова за детаљни преглед литературе (Rajković и сарадници, 2025).....	68
Слика 14: Четири кластера кључних речи из <i>Scopus</i> научне базе података (Rajković и сарадници, 2025).....	75
Слика 15: Дистрибуција анализираних радова по години објављивања, у периоду од 2018. до 2024. године (Rajković и сарадници, 2025).....	78
Слика 16: Визуелизација повезаности држава одакле потичу аутори одабраних радова (Rajković и сарадници, 2025).....	81
Слика 17: Визуелизација броја објављених радова по државама одакле потичу аутори одабраних радова (Rajković и сарадници, 2025).....	81
Слика 18: Структура <i>TRA</i> (Hale и сарадници, 2002)	114
Слика 19: Структура <i>SCT</i> (Bandura, 1986).....	115
Слика 20: Структура <i>TAM</i> (Davis, 1986).....	116
Слика 21: Структура <i>TAM 2</i> (Venkatesh & Davis, 2000).....	117
Слика 22: Структура <i>MPCU</i> (Thompson и сарадници, 1991)	118
Слика 23: Структура <i>MM</i> (Luo и сарадници, 2011).....	119
Слика 24: Структура <i>TPB</i> (Ajzen, 1991)	120
Слика 25: Структура <i>C-TAM-TPB</i> (Taylor & Todd, 1995).....	121
Слика 26: Структура <i>UTAUT</i> (Venkatesh и сарадници, 2003).....	123

Слика 27: Предлог измењене структуре <i>UTAUT</i> (Teng и сарадници, 2022).....	123
Слика 28: Структура <i>UTAUT 2</i> (Venkatesh и сарадници, 2012)	124
Слика 29: Дистрибуција одабраних радова по години издавања	143
Слика 30: Приказ земаља порекла аутора (Janković и сарадници, 2025)	144
Слика 31: Истраживачки модел - проширени <i>UTAUT</i> модел са хипотезама за усвајање технологије у производним предузећима, прилагођено према (Rajković и сарадници, 2025a)	184
Слика 32: Модел кључних детерминанти прихватања и примене технологија Индустије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом	204
Слика 33: Графички приказ модела <i>DTKPI</i> за унапређење управљања производњом – пре и после примене технологија Индустије 4.0.....	232
Слика 34: Концептуални модел дигиталне трансформације производних предузећа у функцији унапређења управљања производњом	234

1. УВОД

Производња, као један од кључних процеса у производном предузећу, представља процес трансформације сировина у готове производе, како би се задовољиле одређене друштвене потребе (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015). Производне системе чине људи, опрема и процеси (Groover, 2007), а да би се њима управљало, потребно је поседовати и управљати адекватним информацијама. Управљање производњом представља „процес извршавања одређених послова планског и управљачког карактера” са задатком реализовања циљева управљања (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015).

Савремено пословно окружење утиче на промене у управљању производњом и производним процесима и захтева константан развој производа и услуга (Rajković и сарадници, 2020). Индустријске револуције резултовале су настанком савремених дигиталних технологија које су допринеле унапређењу управљања производним системима. У савременом пословању, у великој мери тежи се примени технологија за дигитализацију и аутоматизацију производног процеса, односно технологије Четврте индустријске револуције (Индустрије 4.0) (OECD, 2017). Ове технологије доприносе смањењу трошкова рада, унапређују доношење одлука у реалном времену, као и одржавање производних процеса, омогућавају спровођење многих активности, од планирања до реализације производње, у циљу унапређења производње (Osmolski & Kolinski, 2020). Поред тога, унапређују пословне перформансе и резултате, омогућавају доступност података у реалном времену, доприносе уштеди времена, смањују трошкове и учесталост грешака.

Дигитализација, као „један од најважнијих кључева за конкурентност у ери Индустрије 4.0” (Bitsanis & Ponis, 2022), преласком са стандардних начина рада на нове, унапређене, дигитализоване начине, омогућава унапређење управљања производњом, утиче на повећање нивоа аутоматизације, као и на оптимизацију и реинжењеринг пословних процеса. Аутоматизација омогућава аутоматизован рад производње без непосредног учешћа људи, доприносећи бржој и прецизнијој производњи већег обима, са минималним бројем грешака, као и повреда на раду. Стога, дигитализација и аутоматизација, као резултати развоја индустријске

револуције, резултовали су потребом за дигиталним трансформацијама у пословању пословних субјеката. „Дигитална трансформација представља примену технологија за изградњу нових пословних система, модела, софтвера и процеса који резултирају већом ефикасношћу и конкурентском предношћу, као и профитабилнијим приходима” (Schwertner, 2017). Примена технологија Индустрије 4.0 унапређује управљање перформансама у производном предузећу и оснажује предузећа у одржавању конкурентности на тржишту.

Технологије Индустрије 4.0 које се примењују у управљању производњом су: Интернет „интелигентних” уређаја, Сајбер безбедност, Сајбер-физички системи, Рачунарство у „облаку“, Велики подаци и анализа података, Комуникација између машина, Адитивна производња, Роботи, Виртуелна стварност, Проширена стварност, Пословна интелигенција, Машинско учење, Вештачка интелигенција, као и концепт Дигитални близанац. Свака од наведених технологија или технолошких концепата има свој значај и допринос у унапређењу управљања производњом, на пример: контроле и оптимизације процеса производње, оптимизације утрошка ресурса у производњи, мерења одређених перформанси, учешће у обављању операција уместо људи у нехуманим условима, и друго. Наведене технологије детаљније су приказане у докторској дисертацији, са истакнутим пољем примене и резултатима примене у управљању производњом.

Како би се истакао значај појединих технологија у управљању производњом, у овој докторској дисертацији приказан је преглед и анализа литературе, односно научних и стручних радова, на тему технологија Индустрије 4.0 које се примењују у управљању производњом у предузећима широм света. Полазна поставка је да се, анализом литературе, издвоје технологије Индустрије 4.0 које се у највећој мери примењују у пракси, истакну кључне предности и недостаци тих технологија, као и скуп технологија Индустрије 4.0 које се упоредо примењују у производним предузећима. Наведеним прегледом литературе добијен је значајан увид у начин на који технологије Индустрије 4.0 утичу на управљање производњом у производним предузећима. Указано је, такође, да примена концепта Индустрије 4.0 унапређује управљање производњом и издвојене су највише и најчешће примењене, односно кључне, технологије Индустрије 4.0 у производним предузећима.

С обзиром на то да имплементација савремених технологија подразумева велика финансијска улагања за њихову набавку, обуку и адекватну припрему за њихову примену, од великог је значаја анализирати спремност запослених у производном предузећу да усвоје и имплементирају одређену технологију. За те потребе су развијене различите теорије и модели за анализу детерминанти прихватања и примене технологија, које објашњавају и предвиђају понашање људи, као и идентификују детерминанте које позитивно или негативно утичу на намеру за прихватање и примене технологија. У овом раду приказане су познате и често коришћене теорије и модели усмерени ка детерминантама прихватања и примене технологија. Прегледом и анализом тих теорија и модела, у овој докторској дисертацији изведен је закључак која теорија или модел је највише адекватан за примену у производним предузећима, а то је *UTAUT* модел (енгл. *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*). Одабрани *UTAUT* модел примењен је на подацима који су прикупљени у истраживању које је спроведено и приказано у оквиру докторске дисертације, са циљем дефинисања концептуалног модела који обухвата кључне детерминанте за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0.

Како би се на што бољи начин мериле промене постигнуте применом технологија Индустрије 4.0, односно промене настале увођењем дигитализације и аутоматизације у управљању производњом, потребно је те промене мерити, односно мерити вредности перформанси производње. Перформансе представљају основне карактеристике резултата функционисања предузећа (Neely, 2002) чијим мерењем се стиче увид у стварно стање пословних резултата, а мере се помоћу квантитативних или квалитативних индикатора перформанси. За сваки индикатор перформанси потребно је дефинисати жељену вредност којој се тежи, како би, поређењем остварене и жељене вредности, могао да се анализира резултат, односно да се одреди да ли је потребно спровести одређене мере за унапређење. Индикатори перформанси који су од највећег значаја за посматрани пословни систем, у одређеним пословним околностима, називају се **кључни индикатори перформанси**.

Кључни индикатори перформанси дигиталне трансформације (енгл. *Digital Transformation Key Performance Indicators - DTKPI*) представљају посебну групу индикатора перформанси, којима могу да се мере промене настале увођењем савремених технологија у пословање предузећа. Како би се истакао њихов значај,

у овом раду приказан је преглед и анализа научне и стручне литературе на тему кључних индикатора перформанси дигиталних активности насталих као резултат дигитализације и аутоматизације, односно дигиталне трансформације и дати су одговори на питања: Шта су *DTKPI* и да ли се *DTKPI* мере у производним предузећима. Ово је чинило основу за развој другог модела приказаног у овој докторској дисертацији, модела *DTKPI*, који може да се примени за мерење промена и праћење унапређења у управљању производњом насталих применом технологија Индустрије 4.0.

2. НАЦРТ НАУЧНЕ ЗАМИСЛИ ИСТРАЖИВАЊА У ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

„Нацрт научне замисли представља епистемолошку и логичку основу за спровођење истраживања” (Вуковић и Штрбац, 2019; Михаиловић, 2012). У овом поглављу приказан је нацрт научне замисли истраживања у докторској дисертацији који се састоји из следећих делова: одређивање проблема, предмета и циља истраживања (потпоглавље 2.1), хипотетичког оквира истраживања, односно хипотеза истраживања (потпоглавље 2.2). У потпоглављу 2.3. приказане су научне методе истраживања, док су очекивани научни доприноси рада приказани у потпоглављу 2.4. У потпоглављу 2.5. приказан је план истраживања докторске дисертације, док је детаљнија структура докторске дисертације приказана у потпоглављу 2.6.

2.1. Проблем, предмет и циљ истраживања

Савремен начин управљања производњом захтева примену технологија за дигитализацију и аутоматизацију, односно технологија Индустрије 4.0. Дигитализација омогућава дигитализоване начине пословања, унапређење управљања производњом, повећање нивоа аутоматизације, као и оптимизацију и реинжењеринг пословних процеса (Bitsanis & Ponis, 2022; Contini и сарадници, 2023). Аутоматизација омогућава аутоматизован рад производње без непосредног учешћа људи, доприносећи бржој и прецизнијој производњи већег обима, са минималним бројем грешака, као и повреда на раду (Васиљевић и сарадници, 2024; Kumar & Suresh, 2006). Примена ових технологија је све чешћа и утиче на различите промене које настају у управљању производњом. Технологије Индустрије 4.0 које се примењују у управљању производњом су (Çınar и сарадници, 2020; Wamba и сарадници, 2015; Zheng и сарадници, 2020): Интернет „интелигентних“ уређаја, Сајбер безбедност, Сајбер-физички системи, Рачунарство у „облаку“, Велики подаци и анализа података, Комуникација између машина, Адитивна производња, Роботи, Виртуелна стварност, Проширена стварност, Пословна интелигенција, Машинско учење, Вештачка интелигенција, као и концепт Дигитални близанац.

Свака од наведених технологија или технолошких концепата има свој значај и допринос у унапређењу управљања производњом, попут: контроле и оптимизације процеса производње, оптимизације утрошка ресурса у производњи, мерења одређених перформанси, учешће у обављању операција уместо људи у нехуманим условима, и друго.

С обзиром на то да имплементација савремених технологија подразумева велика финансијска улагања за њихову набавку, обуку и адекватну припрему за њихову примену, од великог је значаја анализирати спремност запослених у производном предузећу да усвоје и имплементирају одређену технологију. За те потребе су развијене различите теорије и модели за анализу детерминанти прихватања и примене технологија, које објашњавају и предвиђају понашање корисника, као и идентификују детерминанте које позитивно или негативно утичу на намеру за прихватање и примену технологија (Alshammari & Rosli, 2020; Chang, 2012; Williams и сарадници, 2009). Избор теорије или модела утиче и на избор детерминанти које имају утицај на намеру за прихватање и примену технологија, јер се теорије или модели састоје од различитог скупа детерминанти. Међутим, истраживањем постојећег тржишта, могу се дефинисати додатне детерминанте које нису обухваћене том теоријом или моделом, а могу имати утицај на намеру за прихватање и примену технологија. Одређене теорије и модели могу да се прошире са додатним детерминантама које имају утицај на намеру корисника да прихвати и примени технологију. Применом модификованог, проширеног модела и анализом резултата, могу се дефинисати оне детерминанте које највише утичу на намеру прихватања и примене технологија и које се сматрају кључним.

Како би се на што бољи начин мериле промене постигнуте применом технологија Индустрије 4.0, односно промене настале увођењем дигитализације и аутоматизације у управљању производњом, потребно је те промене мерити, односно мерити вредности перформанси производње. Мерењем перформанси стиче се увид у стварно стање пословних резултата (Hoque, 2010). Оне се мере помоћу квантитативних или квалитативних индикатора перформанси, где се, индикатори перформанси који су од највећег значаја за посматрани пословни систем, у одређеним пословним околностима, називају и кључним индикаторима перформанси (Parmenter, 2015). Као посебна група индикатора перформанси у

савременом пословању посматрају се кључни индикатори перформанси дигиталне трансформације (*DTKPI*) којима се мере промене настале увођењем савремених технологија у производњи. Од великог је значаја њихова примена у управљању производњом, како би се адекватно мериле промене и пратила унапређења у управљању производњом насталих применом технологија Индустрије 4.0.

Према сазнањима аутора, у доступној литератури не постоји модел кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0, као ни модела *DTKPI* којима се могу мерити промене настале применом технологија Индустрије 4.0. Креирање и примена таквих модела од великог је значаја за успешно унапређење управљања производњом, као и праћење и мерење тих унапређења.

На основу наведеног, оправдано је креирање модела кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0, као и модела *DTKPI* у функцији унапређења управљања производњом. Применом модела кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 омогућава се откривање кључних мотива и намере примене технологија, за дефинисање кључних стратегија за усвајање технологије од стране корисника, односно запослених, у циљу унапређења управљања производњом и постизање бољих пословних резултата. Применом модела *DTKPI* омогућава се праћење и мерење унапређења у управљању производњом насталих применом дигиталних технологија Индустрије 4.0.

Тема докторске дисертације повезује примену дигиталних технологија и управљање производњом и омогућава боље разумевање детерминанти које утичу на прихватање и примену ових технологија.

Проблем истраживања у докторској дисертацији представља значај примене технологија Индустрије 4.0, као и идентификација најчешће примењених технологија Индустрије 4.0 у унапређењу управљања производњом. Такође, још један проблем истраживања је значај примене *DTKPI* у управљању производњом у циљу мерења промена и праћења унапређења насталих применом технологија Индустрије 4.0.

Предмет истраживања докторске дисертације су технологије Индустрије 4.0 које се примењују у производним предузећима ради унапређења управљања производњом, као и детерминанте за прихватање и примену технологија

Индустрије 4.0 у управљању производњом. Потребно је, на основу истраживања, одредити детерминанте за прихватање и примену најчешће примењених технологија Индустије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом. Поред тога, предмет истраживања је и примена *DTKPI* за мерење промена и праћење унапређења управљања производњом насталих применом технологија Индустије 4.0.

Циљ истраживања докторске дисертације је да се, кроз преглед доступне научне и стручне литературе, систематизују, анализирају и класификују постојећа знања о најзначајнијим и најчешће примењиваним технологијама Индустије 4.0 у производним предузећима, у функцији унапређења управљања производњом. Додатно, циљ је приказивање тренутног степена примене технологија Индустије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији, као и дефинисање кључних детерминанти, применом проширеног *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)* модела, које утичу на намеру понашања, прихватање и примену технологије у управљању производњом. Такође, циљ истраживања је и дефинисање модела *DTKPI* који може да се примени за мерење промена и праћење унапређења у управљању производњом насталих применом технологија Индустије 4.0. Циљ истраживања може да се посматра кроз две димензије: научну и друштвену, које су приказане у наставку.

Научни циљ истраживања је креирање модела кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 за одабир најзначајнијих детерминанти за прихватање и примену технологија у управљању производњом. Ове детерминанте дефинисане су на основу резултата и анализе истраживања које је спроведено у производним предузећима у Републици Србији. Такође, још један научни циљ је креирање *DTKPI* модела за мерење промена и праћење унапређења у управљању производњом, насталих применом технологија Индустије 4.0.

Друштвени циљ истраживања огледа се у подршци предузећима за имплементацију и примену технологија Индустије 4.0 за унапређење управљања производњом, повећања степена прихватања ових технологија, у циљу ефикаснијег управљања производњом. Указивање на кључне детерминанте које утичу на намеру понашања и прихватање и примену технологија може позитивно утицати на креирање стратешких одлука за примену ових технологија. Додатно, друштвени

циљ огледа се и у подршци предузећима у примени модела *DTKPI*, чиме се омогућава и олакшава мерење промена и праћење унапређења у управљању производњом насталих применом технологија Индустије 4.0. Подршка имплементацији и примени ових технологија и модела *DTKPI* може значајно утицати на унапређење управљања производњом, као и остварење бољих пословних резултата, смањење трошкова, повећање обима производње и степена задовољства запослених, смањења оптерећености запослених, односно може позитивно утицати на пословне резултате и остваривање циљева предузећа.

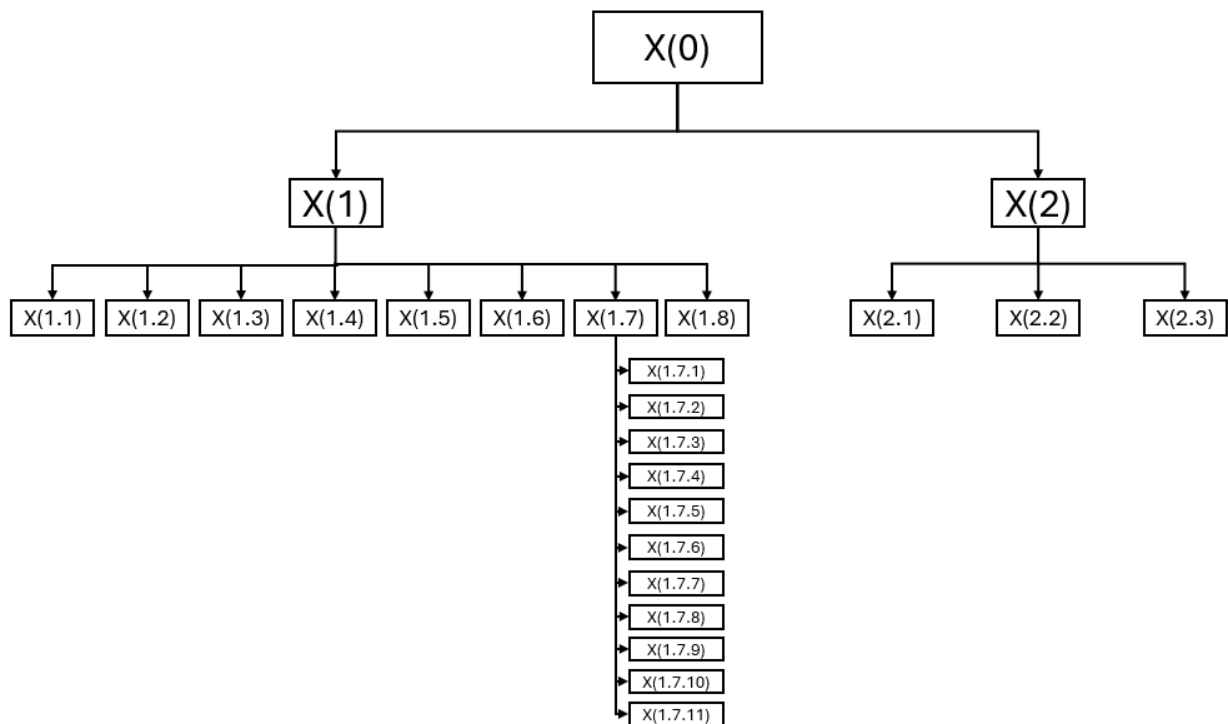
Истраживањем које је приказано у докторској дисертацији планирано је се да се премости јаз између теоријског и практичног знања и имплементације технологија Индустије 4.0, као и *DTKPI*.

На основу приказаних циљева, задаци истраживања докторске дисертације су:

1. Приказ значаја, предности, проблема и недостатака имплементације технологија Индустије 4.0 у управљању производњом;
2. Дефинисање истраживачког упитника као методе истраживања за утврђивање нивоа примене технологија Индустије 4.0 у Републици Србији, основних препрека за њихову имплементацију, као и дефинисање детерминанти њиховог прихватања и примене;
3. Дефинисање модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија Индустије 4.0 у управљању производњом;
4. Дефинисање кључних детерминанти за прихватање и примену најчешће коришћених технологија Индустије 4.0;
5. Дефинисање модела *DTKPI* за мерење промена и праћење унапређења у управљању производњом, насталих применом технологија Индустије 4.0.

2.2. Полазне хипотезе у истраживању

На основу постављеног предмета и циљева истраживања, дефинисане су општа, посебне и појединачне хипотезе истраживања, приказане на Слици 1.



Слика 1: Структура хипотеза истраживања

Општа хипотеза:

X(0): Примена технологија Индустије 4.0 и кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације у производним предузећима позитивно утиче на унапређење управљања производњом.

Посебне хипотезе:

X(1): Примена технологија Индустије 4.0 у производним предузећима позитивно утиче на унапређење управљања производњом.

X(2): Примена кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације у производним предузећима позитивно утиче на унапређење управљања производњом.

Појединачне хипотезе:

X(1.1): Дигитализација и аутоматизација омогућавају унапређење управљања производњом.

X(1.2): Применом технологија Индустије 4.0 могуће је повећати продуктивност, ефикасност и ефективност производње, смањити трошкове, обезбедити брже

прикупљање података и ток информација, омогућити правовремено праћење и контролу производње и уочавање проблема и грешака у производњи.

X(1.3): На основу прегледа научне и стручне литературе, могуће је издвојити најчешће примењене технологије Индустрије 4.0 у управљању производњом.

X(1.4): Постоје теорије и модели који се користе за анализу детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом.

X(1.5): Могуће је одабрати адекватан модел за анализу детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом.

X(1.6): Одабрани модел за анализу детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 могуће је проширити додатним детерминантама за прихватање и примену технологија, које нису обухваћене изворним обликом модела.

X(1.7): Постоје детерминанте које позитивно утичу на прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

X(1.7.1): Очекивани učinak има позитиван утицај на прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

X(1.7.2): Очекивана лакоћа коришћења има позитиван утицај на прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

X(1.7.3): Друштвени утицај има позитиван утицај на прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

X(1.7.4): Олакшавајући услови имају позитиван утицај на прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

X(1.7.5): Ставови према дигитализацији и аутоматизацији процеса имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

X(1.7.6): Свест и подршка руководства предузећа имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

X(1.7.7): Тренутни ниво дигитализације и аутоматизације производних процеса има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

X(1.7.8): Дигитализоване и аутоматизоване активности купаца, добављача и складишта имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима.

X(1.7.9): Спољашњи фактори имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима.

X(1.7.10): Унутрашњи фактори имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима.

X(1.7.11): Препреке имају негативан утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима.

X(1.8): Могуће је дефинисати модел кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом.

X(2.1): Кључни индикатори перформанси примењују се у управљању производњом у функцији њеног унапређења.

X(2.2): Кључни индикатори перформанси дигиталне трансформације могу се применити у управљању производњом са циљем мерења промена и праћења унапређења насталих применом технологија Индустије 4.0, односно дигиталном трансформацијом.

X(2.3): Могуће је дефинисати модел кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације (*DTKPI*) којим се могу мерити промене и пратити унапређења настала применом технологија Индустије 4.0, односно дигиталном трансформацијом.

2.3. Научне методе истраживања

У сврху остварења дефинисаних циљева и приказа релевантних резултата, у докторској дисертацији користиће се следеће научне методе: опште научне методе и методе прикупљања и обраде података.

Опште научне методе:

- Прикупљање, преглед и анализа научне и стручне литературе, постојећих научних радова, часописа, књига, досадашњих истраживања на тему истраживања овог рада;
- Метода библиометријске анализе за технике мапирања научних и стручних радова, попут анализе аутора, кључних речи, издавача, научних и стручних часописа и друго;

- Метода апстракције и конкретизације и метода класификације, за селекцију и груписање резултата;
- Метода индукције и дедукције, за формирање закључака на основу анализиране научне и стручне литературе;
- Метода моделовања, за дефинисање јединственог модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија, као и модела *DTKPI*.

Методе прикупљања и обраде података:

- Метода испитивања као врста методе за прикупљање података у истраживању - техника анкета, за испитивање тренутног нивоа примене технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији, као и детерминанти које утичу на намеру за прихватање и примену тих технологија, као и метода посматрања;
- Методе статистичке анализе (дескриптивна и инференцијална статистика, тестирање хипотеза, моделовање структурних једначина, експлораторна и конфирматорна факторска анализа), за обраду и анализу података прикупљених у току истраживања, као и за валидацију предложеног концептуалног модела.

Наведене методе ће се применити за аргументацију оправданости даљих праваца истраживања докторске дисертације.

2.4. Очекивани научни доприноси истраживања

Очекивани научни допринос докторске дисертације огледа се кроз:

- Систематски преглед, анализу и класификацију постојеће научне и стручне литературе о технологијама Индустрије 4.0 и њиховој примени у управљању производњом;
- Приказ резултата примене технологија Индустрије 4.0 у унапређењу управљања производњом, тежећи ка остваривању циљева предузећа и обезбеђењу боље позиције предузећа на тржишту;
- Указивање на проблеме у имплементацији и примени технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима на основу резултата прегледа научне и стручне литературе;
- Одабир најчешће примењених технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом;

- Приказ теорија и модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија у предузећима;
- Одабир адекватног модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија у предузећима;
- Систематски преглед и анализа постојеће научне и стручне литературе о примени одабраног модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија;
- Креирање модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом;
- Дефинисање кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у посматраним предузећима;
- Преглед и анализу постојеће научне и стручне литературе о перформансама, индикаторима перформанси и кључним индикаторима перформанси, као и њихове примене у управљању производњом;
- Систематски преглед и анализу постојеће научне и стручне литературе о примени кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације (*DTKPI*);
- Приказ резултата примене и значаја *DTKPI* у управљању производњом;
- Креирање модела *DTKPI* за мерење и праћење унапређења у управљању производњом.

Очекује се да ће резултати истраживања у докторској дисертацији потврдити постављену основну хипотезу истраживања, да примена технологија Индустрије 4.0 и кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације (*DTKPI*) у производним предузећима може унапредити управљање производњом. То ће се постићи кроз повећање продуктивности, ефикасности и ефективности, смањење губитака у производњи, смањење времена за реализацију производног процеса, смањење трошкова производње, повећање безбедности и заштите на раду, развој дигиталних производа, повећању тржишног учешћа и друго. Такође, очекује се да ће примена модела *DTKPI* омогући систематичније и лакше мерење промена и праћење унапређења у управљању производњом насталих применом технологија Индустрије 4.0.

2.5. План истраживања

Најважније фазе истраживања у изради докторске дисертације су:

- **Фаза 1.** Прикупљање литературе из научних и стручних база радова;
- **Фаза 2.** Преглед и анализа прикупљене литературе, дефинисање проблема, предмета и циља истраживања;
- **Фаза 3.** Избор узорка за спровођење анкете и дефинисање истраживачког упитника за испитивање утицаја детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом у производним предузећима, као и спровођење истраживања;
- **Фаза 4.** Анализа прикупљених података, дефинисање истраживачког модела, односно проширеног *UTAUT* модела за усвајање технологије у производним предузећима, дефинисање кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом и дефинисање модела кључних детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом;
- **Фаза 5:** Дефинисање модела *DTKPI* који могу се применити у управљању производњом са циљем мерења промена и праћења унапређења насталих применом технологија Индустрије 4.0, односно дигиталном трансформацијом;
- **Фаза 6.** Рад на писању докторске дисертације.

2.6. Структура докторске дисертације

Прво поглавље представља увод у рад. У другом поглављу наведени су проблем, предмет и циљ истраживања рада. Дефинисане су општа, посебне и појединачне хипотезе истраживања. Наведени су методологија истраживања и очекивани научни доприноси докторске дисертације, представљен је план истраживања, као и детаљна структура докторске дисертације.

У трећем поглављу приказани су основни појмови везани за производњу, производна предузећа и управљање производњом, њихова намена и функција. Приказан је развој индустријске револуције, од Индустрије 1.0 до Индустрије 4.0, са освртом на будућност, Индустрију 5.0. Истакнут је и утицај Индустрије 4.0 на дигиталну трансформацију производних предузећа. Детаљно су објашњени термини „дигитализација“ и „аутоматизација“.

У четвртном поглављу приказане су технологије за дигитализацију и аутоматизацију, односно технологије Индустрије 4.0, као и резултати примене и њихов допринос у унапређењу управљања производњом.

Пето поглавље представља преглед досадашњих истраживања, односно преглед и анализу научне и стручне литературе на тему примене технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом. На основу резултата истраживања, извршен је одабир најзначајнијих и најчешће примењених технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима, што је основа за предлог примарног истраживања за потребе докторске дисертације, које је представљено у наставку рада.

У шестом поглављу представљене су теорије и модели за анализу детерминанти прихватања и примене технологија, као и одабир теорије или модела који ће се даље, у докторској дисертацији, применити за одређивање најзначајнијих, кључних детерминанти за прихватање и примену наведених технологија, по технологији, у производним предузећима у Републици Србији.

У седмом поглављу, теоријски су представљени појмови „перформанса”, „индикатори перформанси”, „кључни индикатори перформанси”, као и најчешће примењени модели за мерење перформанси. Приказани су и индикатори перформанси који се користе у управљању производњом. Додатно, у овом поглављу, на основу прегледа и анализе научне и стручне литературе, представљени су *KPI* дигиталне трансформације (*DTKPI*) и њихова примена у производним предузећима.

У осмом поглављу приказана је поставка истраживања, дефинисани сегменти истраживања и групе испитаника. У овом поглављу примењен је одабрани модел из шестог поглавља за одређивање најзначајнијих, кључних детерминанти за прихватање и примену наведених технологија, по технологијама, у производним предузећима у Републици Србији. Такође, приказана је и анализа резултата спроведеног истраживања, као и резултати о нивоу информисаности, тренутне примене и детерминанти који утичу на намеру прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији.

У деветом поглављу приказан је Модел кључних детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања

производњом, настао на основу резултата истраживања приказаног у осмом поглављу. Овај модел је сачињен од кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0.

У десетом поглављу приказан је Модел кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације у функцији унапређења управљања производњом, који се састоји од 12 дефинисаних *DTKPI*, које се сматрају кључним за мерење промена насталих применом технологија Индустрије 4.0. Применом овог модела може се оценити да ли је дошло до унапређења управљања производњом и у којој мери.

У једанаестом поглављу представљена су закључна разматрања овог рада, анализа резултата тестирања хипотеза истраживања докторске дисертације, као и будући правци истраживања.

У поглављу Литература наведена је листа референци (литературних података), научне и стручне литературе, коришћене приликом писања ове докторске дисертације.

Након тога, приказани су прилози докторске дисертације, који се састоје од истраживачког упитника – анкете, која је спроведена у производним предузећима у Републици Србији (Прилог 1), биографија и библиографија аутора докторске дисертације (Прилог 2), изјава о ауторству (Прилог 3а), изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада (Прилог 3б) и изјава о коришћењу (Прилог 3в).

3. ИНДУСТРИЈСКЕ РЕВОЛУЦИЈЕ И ЊИХОВ УТИЦАЈ НА УНАПРЕЂЕЊЕ УПРАВЉАЊА ПРОИЗВОДЊОМ

У овом поглављу представљени су основни појмови везани за производњу и производне системе (потпоглавље 3.1) и управљање производњом и производна предузећа (потпоглавље 3.2). Приказан је концепт и значај индустријске револуције и њен развој од Индустрије 1.0 до Индустрије 4.0, са кратким освртом и на Индустрију 5.0, као индустријске револуције будућности (потпоглавље 3.3). Затим, детаљније су објашњени појмови „дигитализација“, „аутоматизација“ и „дигитална трансформација“ са фокусом на управљање производњом у производним предузећима (потпоглавље 3.4). Поред свега наведеног, у овом поглављу истакнут је утицај Индустрије 4.0 на дигиталну трансформацију производних предузећа.

3.1. Производња

Термин производња (енгл. *Manufacture*) настао је од две латинске речи, *Manus* (рука) и *Factus* (направити), у преведеном значењу „направити руком“. Овај термин се прво појавио у енглеском језику као именица 1567. године, а онда као глагол, тек 1683. године (Groover, 2007). Производња је мултидисциплинарна област која обухвата (Creese, 2017): пројектовање производа и чврстоће материјала (област машинства), структуру материјала и концепта пројектовања процеса (област обраде материјала и инжењеринга), процену трошкова, основе производних процеса, контролу квалитета и принципе управљања квалитетом (област индустријског инжењерства). Једна од дефиниција производње је да: „Производња представља сврсисходну друштвену делатност у којој се одређени скуп материјалних елемената и разних видова енергије трансформише у одређена материјална добра, која задовољавају одређене друштвене потребе“, са основним циљем да „произведе квалитетан производ/услугу по захтеву и на време, уз најмање могуће трошкове“ (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015).

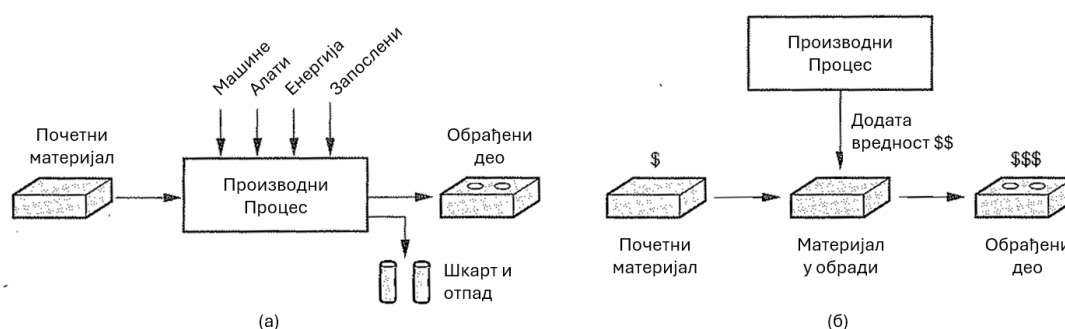
Прва фаза развоја производње односи се на проналазак различитих материјала и откривање различитих процеса за израду предмета, док се друга фаза односи на развој система производње, за организовање ресурса (људи, материјала, машина,

опреме и друго), у циљу ефикасног извршења производње (Groover, 2007). За успешно управљање производњом неопходан је интегрисани тимски рад међу члановима различитих инжењерских дисциплина, што подразумева пројектовање, избор материјала и процеса, маркетинг, набавку, производњу, контролу квалитета и друге функције у производњи, а све то са циљем развијања „најбољег” производа за крајњег корисника (Creese, 2017). Као предмет изучавања у савременом контексту, производња се може двојачко дефинисати, као *технолошки* и *економски процес*.

Као *технолошки процес*, производња представља примену хемијских и физичких процеса, у циљу промене изгледа или својства материјала, како би се произвели делови и/или производи, као и склапање делова у финални производ. У оквиру производних процеса користи се ручни рад, енергија, алати и машине, док се производња изводи као низ операција, где свака следећа операција додаје вредност и облик предмету који се производи.

Као *економски процес*, производња представља трансформацију материјала у производе, где производи имају већу вредност, путем једног или више процеса обраде и/или склапања. У производњи, материјалима се, мењањем облика или својства, као и комбиновањем са другим материјалима, додаје вредност (Groover, 2007).

На Слици 2. приказана је производња, као технолошки процес (а) и као економски процес (б).

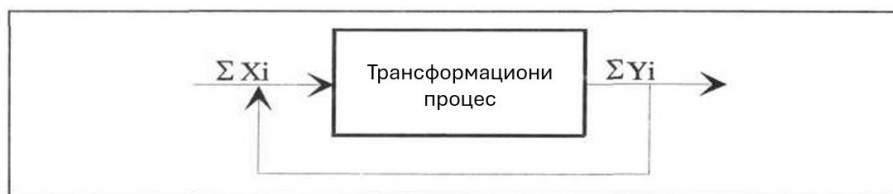


Слика 2: Производња као технолошки процес (а) и као економски процес (б)
(Groover, 2007)

Основне карактеристике производног система су (Kumar & Suresh, 2006):

1. Производња је организована активност, сваки производни систем има јединствени циљ;
2. Производни систем трансформише улазе у корисне излазе;
3. Производни систем не функционише изоловано од других система предузећа;
4. Производни систем користи повратне информације у циљу контроле и унапређења перформанси производног система.

У производњи се врши трансформација улазних материјала (X), односно ресурса (енгл. *Inputs*) у излазе (Y), односно производе (енгл. *Outputs*), а тај трансформациони процес чини систем производње, приказан на Слици 3.



Слика 3: Систем производње (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015)

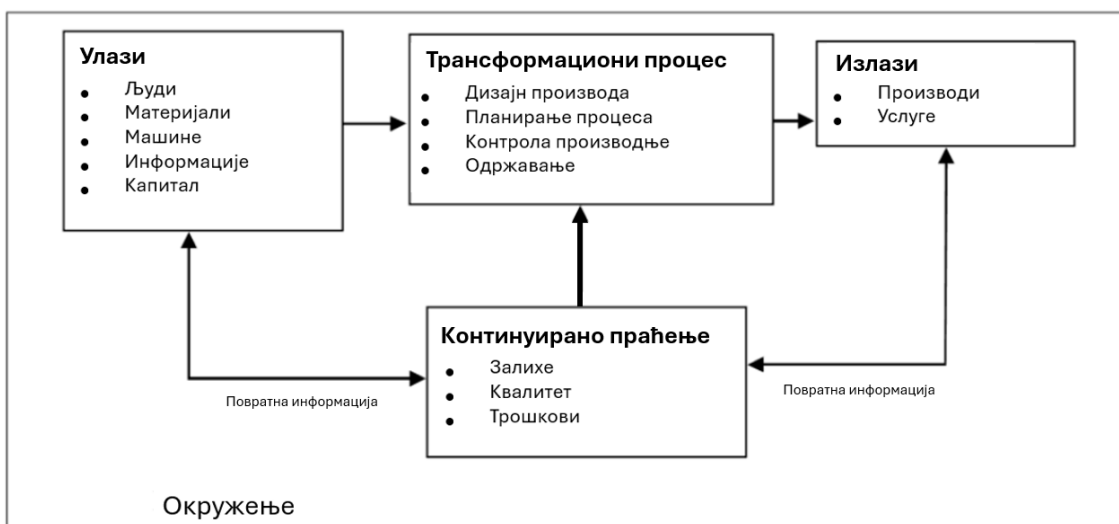
Процес производње представља један од кључних процеса у производном предузећу, који обезбеђује полупроизводе за даљу производњу и финалне производе за испоруку купцима, а за успешан производни процес неопходна је добра комуникација и сарадња планера производње са планерима набавке и дистрибуције (Rajković и сарадници, 2019). Један од термина који се често користи заједно са термином „производња” и од великог је значаја, је термин „продуктивност”. Продуктивност представља ефикасност потрошње ресурса за извршење производње и она је већа што је мања потрошња ресурса, по јединици производње (Gupta и сарадници, 2012). Она повезује количину или квалитет излаза са улазима потребним за његово остваривање (Kahraman & Yavuz, 2010).

Основни ресурси који се користе у производњи су (Gupta и сарадници, 2012; Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015): материјал, флуиди, вода, енергија, простор, људи, средства за рад (машине) и алати, документација. *Материјал* представља сировину или полупроизвод који улази у процес производње, а чијом прерадом настаје готов производ. Разликује се по структури и количини употребе, у зависности од

финалног производа за чију се производњу користи. У зависности од врсте материјала и степена обраде, материјал може да буде у различитом агрегатном стању (чврсто, течност, гасовито), може да се излаже додатним променама, односно процесу трансформације, као припрема за употребу у производном процесу. Материјали су кључни ресурс за производњу, од којих зависи начин производње, распоред производних процеса, као и одабир алата, машина и технологија. Сви материјали имају четири основна својства: механичка својства (нпр. тврдоћа, чврстоћа), топлотна својства (нпр. проводљивост), оптичка својства (нпр. индекс преламања) и електрична својства (нпр. отпорност). За производни процес најважнија су механичка својства, односно како се материјал понаша приликом излагању сили која изазива деформацију (Gupta и сарадници, 2012). *Флуиди* су различите течности и гасови који се користе у процесу производње. *Енергија* омогућава неометан рад машина и алата, осветљава производни погон и представља један од кључних ресурса у производњи. Заједно са *водом*, представља неопходан ресурс за производни процес. *Простор* представља место где се изводи процес производње. Димензија и величина простора утичу на распоред и функционалност, па је од великог значаја организовање простора како би се омогућио неометан рад. *Људи* су важан ресурс који се користи у организовању и реализацији производње, без чијег знања, искуства, стручности и учешћа, неаутоматизована или полуаутоматизована производња не може да се реализује. То је радна снага која изводи одређене задатке у производњи и разликује се по радном месту, позицији, стручности, квалификацијама и знању. У зависности од позиције и комплексности рада, потребно је да људи, односно запослени, имају одређена знања, стручност и да буду специјализовани за област којој припада производно предузеће у ком су запослени. Најчешћа подела запослених у производњи је на *плаве крагне* (радници у производњи) и *беле крагне* (запослени у службама). *Средства за рад (машине)* врше трансформацију материјала у готов производ. На машинама се могу изводити понављајуће операције, као и операције које се изводе у нехуманим условима, као што су висока температура, притисак, ниво буке, и друго. *Алати* су средства која се користе засебно или у комбинацији са машинама, чиме се омогућава одређена прецизност производње. *Документација* представља основни извор различитих информација, важних за одвијање и управљање производним процесима.

Производни систем представља део предузећа који врши производњу производа, односно промену и трансформацију ресурса, додавање вредности, како би се створио производ који задовољава купчеве потребе (Kumar & Suresh, 2006).

На Слици 4. приказана је шема производног система.

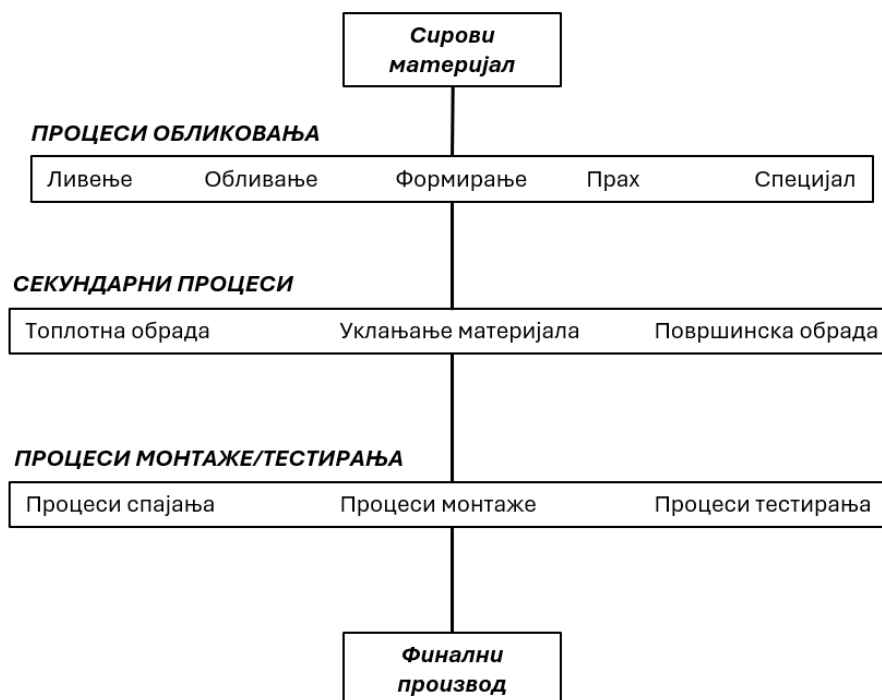


Слика 4: Шематски приказ производног система, прилагођено према (Kumar & Suresh, 2006)

Општа структура производних процеса (Слика 5.) састоји се од пет фаза (Swift & Booker, 2013):

1. Сирови материјали: представљају прву, почетну фазу која обухвата све сировине и материјале неопходне за производњу. У зависности од тога шта се производи, разликују се сировине и материјали за ту производњу;
2. Процеси обликовања: у овој фази врши се обликовање сирових материјала применом процеса деформисања. Спроводе се процеси ливења, тј. изливања растопљеног материјала у калупе; обливања, тј. истискивања материјала и обликовања, формирање сирових материјала – обликовање применом силе, формирање из праха, као и примена специјалних техника, које често нису стандардне или учестале;
3. Секундарни процеси: у овој фази спроводи се површинска и/или топлотна обрада обликованог производа, као и уклањање вишка непотребног материјала;

4. Процеси монтаже/тестирања: прво се врши процес монтаже, односно спајање два или више делова у једну целину или две или више целина у финални производ, а онда следи процес тестирања, где се проверава функционалност производа, техничка исправност, безбедност за употребу и усаглашеност са стандардима. У фази тестирања је потребно увидети и уклонити све неправилности, како би финални производ био технички исправан, безбедан, како би испуњавао стандарде и могао да се даље дистрибуира;
5. Финални производ: представља произведен, састављен, тестиран и исправан производ, који може да се испоручи крајњем кориснику.



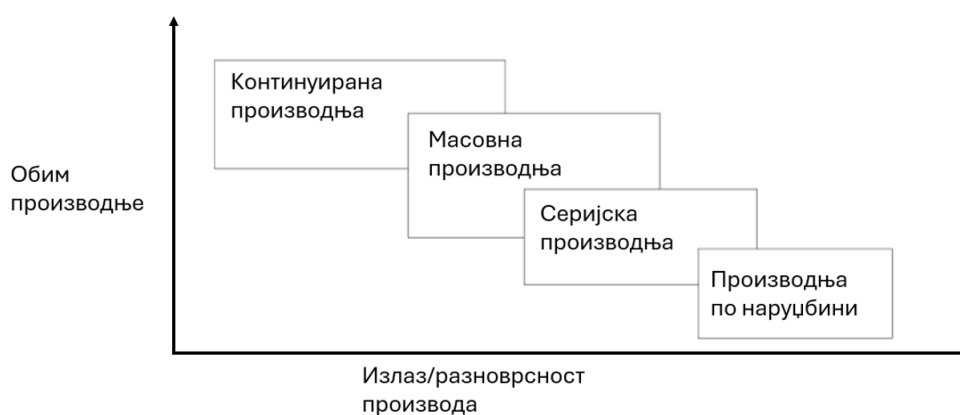
Слика 5: Општа структура производних процеса, прилагођено према (Swift & Booker, 2013)

Производни системи се састоје од опреме, људи и процедура који се користе за комбиновање процеса и материјала и могу се поделити у две групе (Groover, 2007):

1. **Производне јединице (опрема и постројења):** опрема (машине и алати) и њихов распоред у производном погону;
2. **Системи за подршку производњи:** процедуре дефинисане од стране руководства, за управљање производњом, као и за решавање различитих

техничких и логистичких проблема који настају приликом процеса набавке материјала, рада у производном погону, као и обезбеђивању да производи испуњавају дефинисане и предвиђене стандарде квалитета.

На основу обима производње, дефинишу се различите производне стратегије, са циљем унапређења ефикасности производње. Према томе, класификација производње према врсти производа и обиму производње је (Gupta и сарадници, 2012; Kumar & Suresh, 2006): производња по наруџбини, серијска производња, масовна производња и континуирана производња, као што је приказано на Слици 6.



Слика 6: Класификација производних система (Kumar & Suresh, 2006)

Производња по наруџбини представља наруџбину једног или више специјално дизајнираних и произведених производа по одређеним захтевима купца, у предвиђеном времену и у оквиру предвиђених трошкова. Карактеристике овог типа производње су различити типови производа, мали обим производње или појединачна производња, а врло често производња без понављања наруџбина. Радници морају бити специјализовани и обучени за извођење нестандардизованих радних задатака. *Серијска производња* представља облик производње где се производња врши у серијама, врло често у малим или средњим количинама, у понављајућим интервалима, а производи се складиште и чекају на испоруку. Радници морају бити обучени за извођење понављајућих стандардизованих операција. *Масовна производња* представља учесталу производњу велике количине производа која се складишти, док је ефикасност производних линија висока, а трошкови производње мањи. Овај тип производње захтева понављајуће задатке и

примену специјализованих машина. За разлику од *Производње по наруџбини*, овде је производња истог типа производа у великим количинама, где не постоји разлика у карактеристикама производа. *Континуирана производња* представља облик непрекидне производње стандардизованих производа. Овај облик производње је карактеристичан за великосеријску производњу производа истог квалитета и перформанси.

3.2. Управљање производњом

Управљање, односно менаџмент, састоји се од четири основне функције, које чине основу савремене теорије менаџмента (Омербеговић-Бијеловић, 2006; Тодоровић 1993): планирање, организовање, реализација и контрола. Првом функцијом, планирањем, дефинишу се циљеви менаџмента, док се стратегијом дефинише скуп акција за остваривање тих циљева, са главним циљем смањења неизвесности у пословању и раду. Другом функцијом, организовањем, која се реализује након планирања, врши се дефинисање апаратура за остварење постављених циљева, укључујући ауторитет, поделу рада и делегирање, организациону динамику и ефикасно функционисање. Трећом функцијом, реализовањем, врши се припрема и трансформација предмета рада применом ресурса, за креирање производа и/или услуга. Четвртом фазом, контролом, врши се контрола одвијања процеса, поређење планираних са оствареним, како би се на време предузеле корективне мере, у циљу постизања жељених резултата.

Термин „управљање производњом” почео је да се примењује између 30-их и 50-их година XX века, где је фокус био на елиминисању расипања у раду, као и на постизању веће ефикасности (Kumar & Suresh, 2006). Управљање производњом омогућава трансформацију сирових материјала у производе са додатном вредношћу, у складу са политиком предузећа, трансформацију улаза у излазе који задовољавају одређени ниво квалитета, као и скуп међусобно повезаних активности управљања које су укључене у производњу одређеног типа производа (Ranneerselvam, 2012). Основу управљања чине информације и обавља се на основу пријема, преноса, прераде и коришћења информација, односно циркулације информација (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015). Информација представља знање, податак из околине који се може добити из разних појава у окружењу. То је

важан део комуникационог процеса, који се може користити као ресурс за преношење порука. Пријем информација представља процес прикупљања информација, *интерно* (у оквиру предузећа) и *екстерно* (из спољашњег окружења). Након пријема информација, систем тежи да смањи неодређеност, тиме што пласира потребне информације оним запосленима до којих те информације треба да дођу. Информације се прерађују, односно анализирају, бирајући само део који је важан да се користи за потребе доношења одлука о даљим активностима које је потребно извршити (Madden, 2000). Управљање, односно менаџмент производње (енгл. *Production Management*) представља „процес и систем управљања производњом” који обухвата следеће послове: припрема производње, одржавање, оперативно управљање, пласман, управљање радном снагом, управљање квалитетом, финансијама, послови пројектовања информационог система и друго, са циљем производње одређене количине производа у предвиђеном временском периоду, пројектованог стандарда и квалитета, уз минималне трошкове производње (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015).

Управљање производњом обухвата активности планирања и контроле унутар производног система, који може бити мање величине, попут радионице са једном машином или већег обима, као што су фабрике, дистрибутивни центри и малопродајни објекти, распоређени на једном или више континената. У зависности од тога, али и од примењених материјала, технологија и других фактора, структура производа значајно варира по сложености. У управљању производњом се примењује принцип **пет М** (Kahraman & Yavuz, 2010): човек (енгл. *Man*), машина (енгл. *Machine*), метода (енгл. *Method*), материјал (енгл. *Material*) и новац (енгл. *Money*). Сви наведени елементи у стварним условима носе висок степен неизвесности: људи се разликују по продуктивности (код исте особе продуктивност може варирати, а различити људи могу бити различито продуктивни), машине се кваре, методе дају различите резултате у различитим околностима, материјали се разликују по структури и намени, а у зависности од структуре и уређености производног система, потребно је уложити различиту количину новца. Из тих разлога, а највише због сталних неизвесности и промена, управљање производњом је доста изазовно и сложено.

Управљање производњом обухвата процесе планирања, организовања, усмеравања и контролисања активности производње, комбинујући и трансформишући различите ресурсе у производ са додатом вредношћу, на контролисан начин и у складу са политиком производног предузећа. Такође, управљање производњом омогућава доношење одлука у вези са производним процесима, како би производи или услуге били произведени у складу са спецификацијама, у траженој количини, у предвиђеном року и уз минималне трошкове. На основу тога, могуће је дефинисати основни циљ управљања производњом (Kumar & Suresh, 2006): „Производња производа одговарајућег квалитета и количине, у право време и уз одговарајуће трошкове производње”. Жељени квалитет производа се утврђује на основу цене производа и техничких карактеристика које одговарају специфичним захтевима и потребама купаца. Потребно је производити производе у одговарајућој количини, јер уколико је произведена количина већа од тражене, биће већа количина залиха, а тиме и трошкова, док мања производња од тражене може довести до несташице производа и незадовољства купаца (Kumar & Suresh, 2006).

Успешно управљање производњом омогућава висок квалитет производа, ефикасност производног процеса, високу продуктивност, оптималну количину залиха полупроизвода и финалних производа, као и испуњавање захтева купаца. Неадекватно управљање производњом може довести до високих трошкова услед надокнаде пропуштене производње, прекомерних залиха и кашњења у производњи (Rajković и сарадници, 2019), где трошкови залиха, који се састоје из трошкова набавке, трошкова држања залиха, трошкова недостатка залиха и других трошкова, представљају важан део трошкова производње (Крчевинац и сарадници, 2010). Правовременост испоруке је једна од важних перформанси за оцењивање ефикасности производње. Трошкови производње се утврђују пре него што производ буде произведен. Из тог разлога, потребно је уложити све напоре да се производи израде по унапред пројектованим трошковима (Kumar & Suresh, 2006).

За постизање успешног управљања производњом, као и за подршку запосленима у производном сектору, потребно је (Ambler & Constantine, 2001):

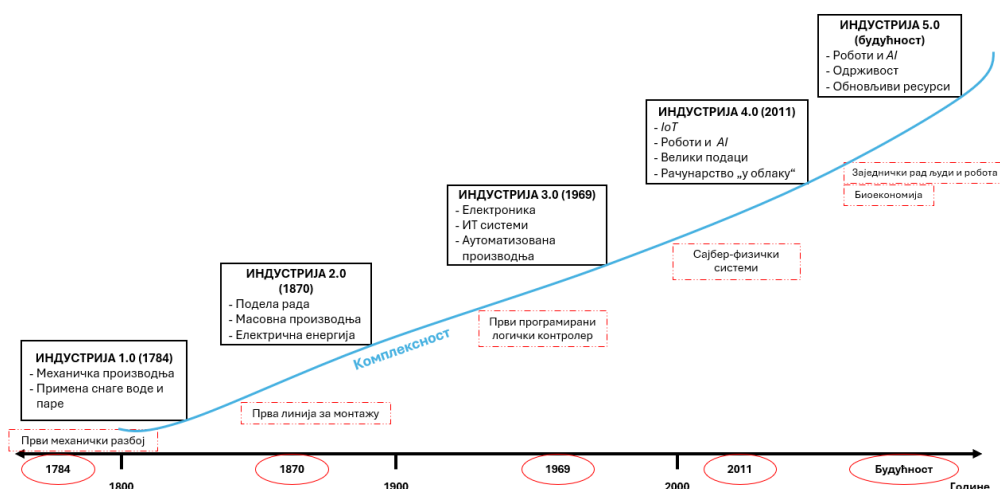
1. Надгледање система производње и поступање на одговарајући начин, како не би дошло до застоја у раду;

2. Реакције на захтеве за помоћ, састављање извештаја о грешкама и испуњавање захтева корисника;
3. Управљање и одржавање релевантних послова, докумената и система подршке;
4. Управљање процесом контроле.

Међутим, важно је споменути и технолошку процесну способност производног погона, који представља скуп доступних производних процеса, материјала, машина, алата, као и технологија које се користе у производњи. Погони се разликују према процесима који се у њима одвијају. С обзиром да су различити производни процеси прилагођени одговарајућим материјалима, погон је ограничен за примену одређених врста материјала. Поред процеса, технолошка процесна способност захтева примену одређених технологија, што захтева и стручност особља у управљању производним процесом. На основу свега наведеног, одређује се који тип производа може да се производи у таквом погону. Из тог разлога је јакo важно применити одговарајуће технологије, које унапређују производни процес, којим запослени могу да управљају, тежећи ка остварењу основних циљева управљања производњом. Предузећа морају да се усредсреде на пројектовање и производњу производа који су усаглашени са њиховом технолошком процесном способношћу (Groover, 2007).

3.3. Индустриска револуција – концепт и значај

Индустриска револуција почела је у XVIII веку и још увек је у развоју, што је приказано на Слици 7.



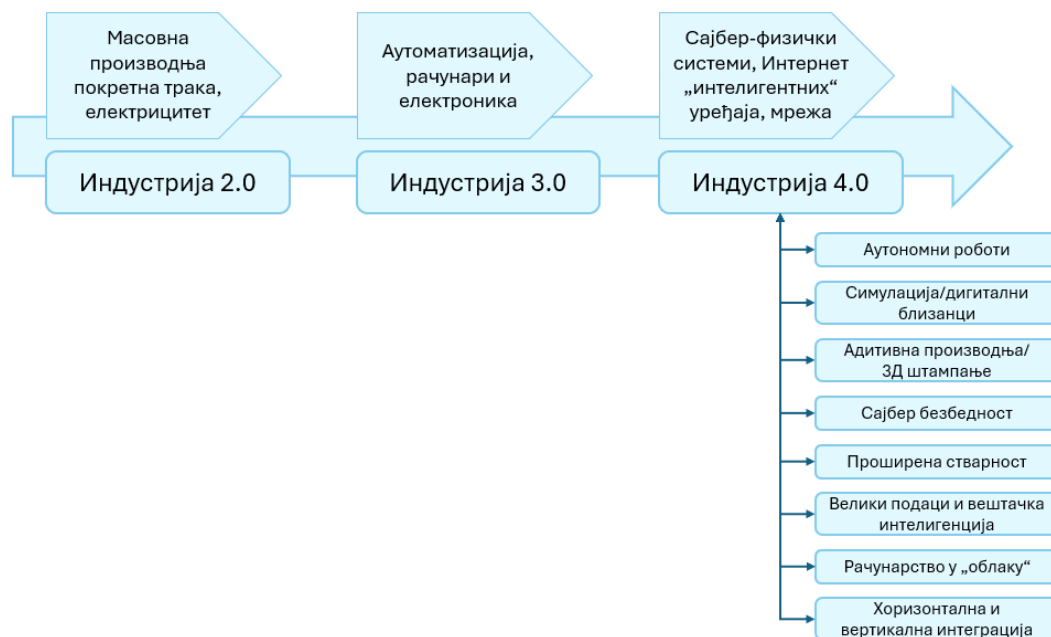
Слика 7: Развој индустриске револуције, прилагођено према (Demir и сарадници, 2019)

Развој индустријске револуције приказан је у наставку (Apriliyanti, 2022; Branca и сарадници, 2020; Васиљевић и сарадници, 2024; Fatima и сарадници, 2022; Karabegović, 2017; Thangaraj & Narayanan, 2018; Vinitha и сарадници, 2020; Xu и сарадници, 2018; Yavari & Pilevari, 2020; Yin и сарадници, 2018):

1. **Индустрија 1.0**, односно **Прва индустријска револуција** (доба паре), започета је средином XVIII века. У овој индустријској револуцији први пут је употребљена снага паре, разбој за ткање и механизација као замена за људски и животињски рад, што је значајно утицало на повећање ефикасности рада;
2. **Индустрија 2.0**, односно **Друга индустријска револуција** (доба електричне енергије), започета је почетком XX века. У овој индустријској револуцији први пут је употребљена трака за монтажу, као и електрична енергија. Тада је први пут омогућена масовна производња;
3. **Индустрија 3.0**, односно **Трећа индустријска револуција** (доба информација), започета је крајем XX века. У овој индустријској револуцији се први пут појављују рачунари и мобилни телефони, као и многи други уређаји који су омогућили убрзану комуникацију и размену информација. Тада је први пут забележена примена електронике, аутоматике и рачунара;
4. **Индустрија 4.0**, односно **Четврта индустријска револуција** (доба дигитализације), настала је у XXI веку, тачније 2011. године у Немачкој. У овој индустријској револуцији је фокус на примени Интернета, помоћу кога су уређаји, машине, као и простор за складиштење података у „облаку” повезани „интелигентно”, чиме је омогућен аутономни рад машина, са ограниченим учешћем или без учешћа човека. Највећи фокус је на аутоматизацији и дигитализацији процеса, од почетка до краја. Иако је Индустрија 4.0 и даље у развоју, постоји снажна тенденција преласка на Индустрију 5.0;
5. **Индустрија 5.0**, односно **Пета индустријска револуција**, представља будућност, еру сарадње човека и машина. За ову индустријску револуцију се сматра да ће омогућити потпуну трансформацију производње, заједнички рад машина и људи за прецизнију и бржу производњу. Највећи фокус ће бити на производњи јединствених и прилагођених производа, како би се потребе и жеље купаца задовољиле у што већој мери. За ову индустријску револуцију се сматра да циљ није замена људи, већ њихово оснаживање и да се истиче потреба за

сарадњом робота и људи, где људи контролишу роботе који обављају различите, као и понављајуће задатке. Људска интелигенција је потребна за решавање проблема, док ће се роботи користити за прецизно и брзо решавање проблема.

Током развоја индустријске револуције, развијале су се технологије и алати, што је приказано на Слици 8. Дигитализација и аутоматизација производа и процеса представљају резултат развоја индустријске револуције (Pfohl и сарадници, 2017), док је највише технологија и алата за дигитализацију и аутоматизацију развијено током Индустрије 4.0. Развој Индустрије 4.0 започиње заједничким напорима немачке савезне владе, универзитета и предузећа, као „стратешки програм за развој напредних производних система, за повећање продуктивности и ефикасности националне индустрије” (Kagermann и сарадници, 2013), са циљем да омогући дигиталну трансформацију свих процеса у индустрији, попут логистике, производње и друго (Frank и сарадници, 2019). Централни елемент Индустрије 4.0 је „паметна” производња која се ослања на примену дигиталних технологија за прикупљање и анализу података у реалном времену, као и за пружање корисних информација у току производног процеса (Lee и сарадници, 2015). Индустрија 4.0, као дигитална индустријска револуција, уводи многе дигиталне технолошке иновације и односи се на примену савремених технологија за унапређење производног процеса, са фокусом на дигитализацију и аутоматизацију процеса производње, као и прихватање и унапређење савремених дигиталних технологија у циљу повећања степена њихове примене у предузећима и стварања јединственог повезаног дигиталног пословног система.



Слика 8: Развој технологија и алата од Индустије 2.0 до Индустије 4.0, прилагођено према (Jałowiec & Wojtaszek, 2022)

Потенцијал примене Индустије 4.0 у производним предузећима може се сагледати кроз следеће аспекте (Kagermann и сарадници, 2013):

1. **Испуњавање индивидуалних захтева и потреба купаца:** примена Индустије 4.0 омогућава и олакшава интеграцију специфичних захтева купаца кроз фазе пројектовања, дизајна, наручивања, планирања, производње и рада, омогућавајући прилагођавања у последњем тренутку;
2. **Флексибилност:** умрежавање засновано на сајбер-физичким системима омогућава прилагођавање различитих елемената у оквиру пословних процеса, укључујући робусност, квалитет, трошкове, ризик, време и заштиту животне средине. Ово повећава агилност инжењерских процеса, омогућава измене у производним процесима, компензује привремене несташнице и утиче на значајно повећање обима производње у кратком временском року;
3. **Оптимизовано доношење одлука:** Индустија 4.0 омогућава транспарентност података у реалном времену и пружа већу флексибилност у решавању проблема и поремећаја насталих у производњи;
4. **Продуктивност и ефикасност ресурса:** Основни стратешки циљеви предузећа подразумевају максимизацију производње производа у оквиру одређеног обима

ресурса (продуктивност ресурса) и минимизацију употребе ресурса да би се постигао одређени резултат (ефикасност ресурса). Интеграција технологија омогућава прилагођавање производних процеса кроз читаву мрежу вредности, за сваки сценарио. Поред тога, процеси могу бити подвргнути континуираној оптимизацији током производње, фокусирајући се на потрошњу ресурса и енергије или смањење емисије гасова „Стаклене баште”;

5. Могућност за стварање вредности применом иновативних услуга:

Индустрија 4.0 уводи нове начине стварања вредности и појаву иновативних могућности запошљавања. У основи ове револуције су „интелигентни“ алгоритми за анализу и обраду великих количина података. Ове податке генеришу различити „паметни” (енгл. *Smart*) уређаји ангажовани у различитим аспектима пословања, служећи као сировина која се може трансформисати у иновативне услуге и решења;

6. Одговор на демографске промене на радном месту: комбиновање напора у

организацији рада и развоју вештина, неговање интерактивне сарадње између појединаца и технолошких система, нуди предузећима иновативне стратегије за истицање демографских промена. Индустрија 4.0 бави се изазовима као што су недостатак квалификоване радне снаге и све већа разноликост радне снаге, у смислу старости, пола и порекла, омогућавајући различите и прилагодљиве путеве развоја каријере за оснаживање појединаца, како би се одржала продуктивност на дужи рок;

7. Баланс између пословног и приватног живота: у предузећима која се ослањају

на технологије, прихватање флексибилних модела организације рада омогућава значајне предности. Ови модели омогућавају боље усклађивање и уравнотежену интеграцију посла и приватног живота, као и хармонију између личног раста и сталног професионалног развоја. Посебно, „паметни” системи подршке у оквиру овог оквира уводе нове могућности за унапређење организације рада и подизање стандарда флексибилности.

За спровођење стратегије дигиталних промена у производним предузећима и успешне имплементације Индустрије 4.0, потребно је применити шест корака (Gamache, 2019):

1. **Прелиминарни корак:** мапирање ланца вредности, како би се обезбедила контрола процеса и развила стратешка визија и план предузећа;
2. **Корак ревизије:** процена дигиталних перформанси предузећа;
3. **Корак планирања:** идентификовање пословне праксе коју треба применити (дигиталне или недигиталне) и одређивање приоритета и планирање дигиталних пројеката;
4. **Корак имплементације:** имплементација дигиталних и недигиталних пословних пракси, утврђивање приоритета, имплементација концепта рада и оптимизација пре имплементације;
5. **Корак испоруке:** увођење дигиталних и недигиталних решења у пословне процесе;
6. **Корак оптимизације:** модификовање, оптимизација и имплементација наредног пројекта на листи.

Индустрија 4.0 се још развија и представља „нову индустријску еру која дигитално трансформише све процесе широм индустрија, од производње до логистике, применом иновативних технологија” (Rajković и сарадници, 2024). Многа предузећа теже ће применити технологије Индустрије 4.0 које су у највећој мери развијене током те индустријске револуције. У оквиру Индустрије 4.0 примењују се различите технологије у производним процесима (Lu, 2017), док примена савремених технологија омогућава дигиталну производњу (Rakićević и сарадници, 2023).

3.4. Дигитализација и аутоматизација – термин и значај

Дигитализација представља прелазак са традиционалних метода рада на нове, савремене, дигиталне технологије, што је значајно утицало на трансформацију начина рада, комуникацију и начине управљања ресурсима предузећима, а у великој мери се одразило на сектор производње. Дигитализација представља „један од најважнијих кључева за конкурентност у ери Индустрије 4.0, гарантујући високе перформансе у производњи на основу повезивања продуктивности и флексибилности, елиминисања трошкова и унапређења квалитета производа” (Bitsanis & Ponis, 2022) и може да омогући ефикасну интеграцију, комуникацију и равнотежу између производње, дистрибуције и потрошње (Contini и сарадници, 2023). Велики напредак је постигнут у областима роботике, аутоматизације и

информационих технологија, што је био предуслов за развој Индустрије 4.0, која представља „актуелни тренд дигитализације, аутоматизације и размене података у производњи” (Thun и сарадници, 2019). Дигитализација утиче на производне процесе и пословне моделе, што је утицало на развој дигиталне трансформације (Jeske и сарадници, 2021). Према (Liere-Netheler и сарадници, 2018), дигитална трансформација дефинише се као „употреба нових дигиталних технологија како би се остварила велика пословна унапређења, попут унапређења корисничког искуства, поједностављење производних операција или креирања нових пословних модела“. Први корак у дигиталној трансформацији је „процена дигиталне зрелости и спремности предузећа” (Machado и сарадници, 2019), која подразумева промену пословног модела и процеса у производњи применом неких од дигиталних технологија, попут Вештачке интелигенције, Аналитике података, Интернета „интелигентних” уређаја, Робота и друго. „Крајњи циљ дигиталне трансформације је повећање продаје, одрживости и задовољства купаца” (Libert и сарадници, 2016). Из претходно наведеног, може се донети закључак да дигитализација и предности које она доноси у управљању производњом, наводи предузећа да усмере своје ресурсе ка дигиталној трансформацији, што указује на велики значај ове теме за производни сектор.

Дигитализација омогућава ефикаснију примену друштвених, еколошких и економских ресурса и обезбеђује ефикасну комуникацију, интеграцију и равнотежу између производње, дистрибуције и потрошње ресурса и информација. Основни циљ дигитализације у производном сектору је повећање ефикасности, продуктивности, подршка сарадњи између човека и робота, као и оптимизација процеса које директно утичу на смањење трошкова и унапређење квалитета производа. Из тог разлога, дигитална транзиција постаје све више важна у производном сектору. Циљ примене дигитализације, односно примене дигиталних технологија је стварање „паметних” фабрика, са тенденцијом ка већој продуктивности, ефикасности и аутоматизацији (Contini и сарадници, 2023). Дигитализација омогућава ефикасност ресурса, циркуларну економију, унапређење животне средине, ланца снабдевања и управљања отпадом (Antikainen и сарадници, 2018) због чега има велики значај у производном сектору, нарочито за индустрије које троше велику количину енергије и ресурса (García-Muiña и сарадници, 2020).

Према ауторима (Schumacher & Sihm, 2020), воља и свест доносилаца одлука у великој мери утичу на промоцију и иницирање активности дигитализације и аутоматизације. Исти аутори тврде да концепти „паметних” фабрика, „паметних” објеката или „паметних” процеса, могу бити састављени од интегрисаних елемената дигитализације и аутоматизације. Међутим, предузећа се често сусрећу са бројним проблемима и изазовима у процесу дигитализације, као што су недостатак стручности и вештина запослених, одабир технологије, балансирање између финансијских, оперативних и стратешких индикатора перформанси и друго (Kane и сарадници, 2018).

Аутоматизација, у контексту производње, представља примену машина које не надгледа човек (Fatima и сарадници, 2022), као и „процес коришћења софтвера за управљање производњом и/или роботских алата за извршавање операција приликом израде физичког производа”, док се алати користе у сврхе обраде, инспекције, монтаже, руковања материјалом и управљања залихама и квалитетом (Васиљевић и сарадници, 2024). Аутоматизација примењује механичке, електронске системе и софтвере, са циљем управљања и контроле производње, док у производњи обухвата аутоматске машине за обраду делова и монтажу, индустријске роботе, системе за аутоматско руковање и складиштење материјала, системе за аутоматску контролу квалитета, повратну контролу и контролу процеса путем рачунара, као и рачунарске системе за планирање, прикупљање података и доношење одлука, у циљу подршке производним активностима (Kumar & Suresh, 2006). „Пристапи аутоматизацији фабрика и процеса, технологије комуникације и аутоматизације и производни стандарди морају бити правилно повезани једни са другима, омогућавајући кохерентну техничку, синтаксну и семантичку интероперабилност” (Brescher и сарадници, 2021).

Аутоматизација производње повећава продуктивност, омогућава смањење високих трошкова рада, што доводи до нижих трошкова по јединици производа, надомешћује недостатак радне снаге, повећава безбедност аутоматизованим извршењем операција, смањује количину отпада, унапређује квалитет производа, омогућава бољу усклађеност са спецификацијама, скраћује време производње, омогућава конкурентску предност предузећа на тржишту, смањује залихе у процесу производње скраћивањем времена производње, док радници више немају

извршне, већ надзорне улоге и задатке, и друго. Основне предности аутоматизације су: скраћење времена рада, безбеднији услови рада за запослене (смањивањем директног физичког учешћа радника у производном процесу смањује се и могућност повреде) и производи по нижим ценама. Међутим, аутоматизација има и недостатке: зависност човека од машина, смањење квалификоване радне снаге, преузимање задатака од запослених, што консеквентно доводи до смањења нивоа запослености (Fatima и сарадници, 2022), а може утицати и на смањење куповне моћи и довести до масовне економске депресије (Kumar & Suresh, 2006).

Дигитализација и аутоматизација су различити приступи, који се заједно примењују у оквиру дигиталне трансформације. Дигитална трансформација представља савремени начин пословања које тежи ка примени савремених технологија, повећању дигитализације и аутоматизације процеса. Утицај дигиталне трансформације може бити спољашњи (унапређење корисничког искуства), унутрашњи (утицај на пословне циљеве, одлучивање и хијерархијску структуру) и свеобухватни (утицај на све пословне секторе, промене под утицајем дигиталне трансформације и настанка нових пословних модела) (Hess и сарадници, 2016). Дигитална трансформација развијала се кроз три фазе (Verhoef и сарадници, 2021): дигитизација, дигитализација и аутоматизација. У пракси, ови термини се врло често поистовећују. Према (Ramis Ferrer и сарадници, 2018), дигитизација описује техничку конверзију аналогних података у битове (1,0) применом одговарајуће дигиталне опреме. На тај начин, рачунари (софтвери или апликације) могу да бележе информације и размењују их. Дигитализација представља виртуелно реализоване задатке, променом медијских канала, хардвера и софтвера, као и комуникационих платформи. Она омогућава примену дигиталних технологија за модификацију постојећих процеса, са циљем унапређења. Аутоматизација представља примену технологија у обављању задатака без или уз мало учешће људи. Предузећа која имплементирају савремене технологије и покрену дигиталну трансформацију свог пословања, поспешују конкурентску позицију на тржишту, унапређују пословање, смањују трошкове, унапређују безбедност података и повећавају брзину размене података у оквиру предузећа и ван њега, чиме унапређују целокупно пословање. Дигитализација и аутоматизација производног процеса омогућавају доношење одлука у реалном времену (Osmolski & Kolinski,

2020). Улагање у технологије за дигитализацију и аутоматизацију могу утицати на смањење трошкова рада (OECD, 2017), повећање ефикасности производних предузећа (Рајковић и сарадници, 2023), као и унапређење управљања залихама (Крчевинац и сарадници, 2010).

4. ТЕХНОЛОГИЈЕ ИНДУСТРИЈЕ 4.0 И ЊИХОВ УТИЦАЈ НА УПРАВЉАЊЕ ПРОИЗВОДЊОМ

Примена аутоматизованих машина представља основу савремене производње (Groover, 2007). Аутори *Rajković* и сарадници (2023) наводе да се „у производњи, технологије Индустије 4.0 користе за унапређење протока информација и размене података, контроле, трошкова пословања и процеса, складиштења, дистрибуције/транспорта и запослених”. Аутори *Fatima* и сарадници (2022) допуњују да је: „Основни циљ Индустије 4.0 да смањи учешће људи као оператера и да нагласи системе аутоматизације“. Кључни покретачи за развој Индустије 4.0 су дигитализација производа и процеса (Pfohl и сарадници, 2017), технолошки притисак (брз развој савремених и дигиталних технологија, попут Интернет „интелигентних“ уређаја, Вештачке интелигенције, Проширене стварности, Сајбер-физичких система и других) и захтеви производних предузећа за снижавање трошкова рада (Buer и сарадници, 2021).

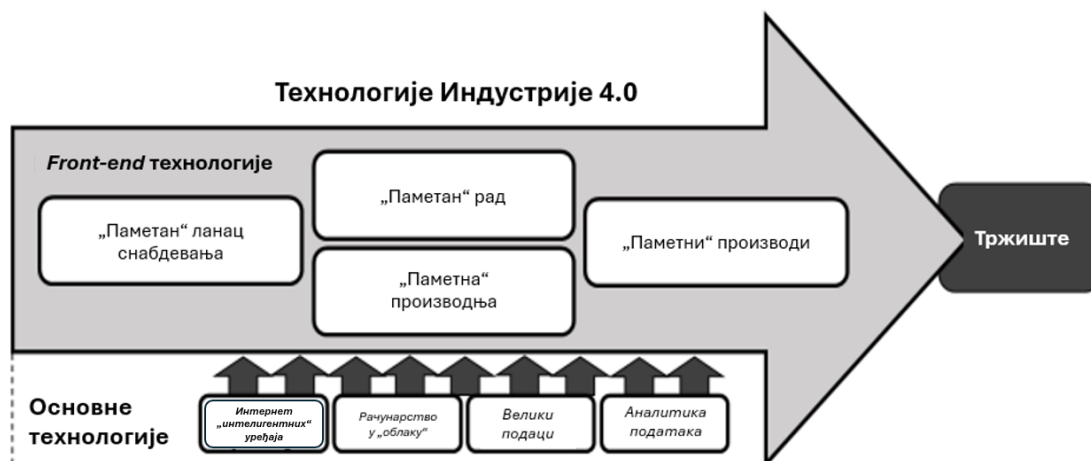
Технологија представља примену науке са циљем задовољења потреба друштва (Groover, 2007), а дигиталне технологије имају кључну улогу у трансформацији пословања (Levkovsky и сарадници, 2021). Експоненцијални развој технологија Индустије 4.0 последњих неколико година позитивно је утицао на пословне перформансе предузећа, унапређујући ефикасност пословања, као и конкурентску предност (Мацановић и сарадници, 2023), док је резултат дигитализације већи пословни учинак (Kahrović & Avdović, 2023).

Познавање рада на рачунару, апликације и софтвери, телекомуникације и умрежавање су од суштинског значаја за производна предузећа и управљање производњом. Један од важних предуслова за успешну имплементацију технологија Индустије 4.0 су запослени. Став који запослени имају према дигитализацији, као и намера њиховог понашања, имају утицај на самоефикасност технологија (Stojanović, 2023). У истраживању приказаном у (Çiğdem и сарадници, 2023) наводи се да запослени сматрају да је имплементација ових технологија јако важна, да повећава продуктивност, побољшава ефикасност и квалитет рада, смањује број грешака у раду, као и количину отпада. Занимљиво је истаћи да су

велика предузећа spremnija за имплементацију ових технологија, као и да предузећа која имају виши степен зрелости могу стећи већу конкурентску предност применом ових технологија (Frank и сарадници, 2019). Велика предузећа имају значајно већи степен дигитализације производње, у поређењу са малим и средњим предузећима (МСП) (Buer и сарадници, 2021). Исти аутори су навели да поједине технологије имају позитиван утицај на пословне перформансе, где кључну улогу за постизање конкурентске предности имају технологије Великих података, а технологије Виртуелне и Проширене стварности позитивно утичу на повећање продуктивности радника, као и да технологије Вештачке интелигенције унапређују оперативне аспекте производње. Применом технологија Индустрије 4.0 могуће је решити проблеме негативног утицаја производње на животну средину, смањити емисију гасова угљеника (CO и CO₂) који настају као резултат производње, оптимизовати производне процесе, смањити дужину циклуса производње, као и унапредити организацију радног места, како би се подстакла продуктивност и задовољство запослених (Joо и сарадници, 2022; Kanap и сарадници, 2023).

Примена технологија Индустрије 4.0 води ка стварању „паметних“ фабрика. „Паметне“ фабрике су у потпуности дигитализоване и аутоматизоване фабрике које комуницирају помоћу технологија Индустрије 4.0, без директног учешћа човека. Овакве фабрике омогућавају интеграцију физичког и виртуелног система (Васиљевић и сарадници, 2024).

На основу главних циљева, технологије Индустрије 4.0 могу се поделити на два слоја (Frank и сарадници, 2019): слој основних технологија и слој *Front-end* технологија (Слика 9.). Технологије које чине слој основних технологија су: Интернет „интелигентних“ уређаја, Рачунарство у „облаку“, Велики подаци и Аналитика података. Њиховом применом и интеграцијом омогућава се рад *Front-end* слоја, који има сврху трансформације ланаца снабдевања и производних процеса применом ових технологија, оптимизујући приступ производњи и испорукама сировина и производа и стварајући „паметни“ ланац снабдевања, „паметну“ производњу, „паметне“ производе и „паметан“ рад, на основу чега запослени лакше и боље обављају активности коришћењем нових технолошких алата (Frank и сарадници, 2019).



Слика 9: Два слоја технологија Индустије 4.0 (Frank и сарадници, 2019)

Трансформација из Индустије 3.0 у Индустију 4.0 извршена је применом следећих технологија и технолошких напредака (Rüßmann и сарадници, 2015; Salkin и сарадници, 2018): Аналитика великих података, Виртуелизација, Симулација, технологије Проширене стварности и Адитивне производње, Вештачка интелигенција, Роботика, хоризонтална и вертикална интеграција, комуникација и умрежавање, Индустијски Интернет „интелигентних“ уређаја (енгл. *Industrial Internet of Things* - *IIoT*), Рачунарство у „облаку“, Сајбер безбедност и друго. У оквиру концепта Индустије 4.0 примењује се велики број технологија и методолошких приступа попут (Çınar и сарадници, 2020; Wamba и сарадници, 2015; Zheng и сарадници, 2020): Велики подаци и Аналитика (за прикупљање и анализу велике количине података), *Cloud* технологија (за пружање услуга *Online* складиштења података без инсталација, као и примену апликација на виртуелним серверима), *Blockchain* (база података која креира дистрибуирану и заштићену дигиталну „књигу“ трансакција), Предиктивно одржавање (напредна стратегија одржавања која се односи на континуирано праћење перформанси опреме зарад предвиђања потенцијалних кварова), Симулација и Моделирање (методолошки приступи који креирају виртуелне верзије физичког система, олакшавајући пројектовање, рад и тестирање система).

У наставку рада представљене су технологије Индустије 4.0 које се користе за дигитализацију и аутоматизацију производње, као и начини на које се те технологије могу применити за унапређење управљања.

4.1. Интернет „интелигентних” уређаја

Технологија Интернет „интелигентних“ уређаја (енгл. *Internet of Things - IoT*) је појам који је први пут употребљен 1999. године од стране британског научника *Kevin Ashton*, за опис система у коме објекти у физичком систему могу бити повезани Интернетом, путем сензора (Rose и сарадници, 2015). Технологије Интернет „интелигентних“ уређаја представљају међусобно повезане уређаје, рачунаре, објекте, дигиталне и механичке машине или појединце путем Интернета, омогућавајући бржи пренос, обраду и употребу података, без или са минималном људском интервенцијом. Ове технологије омогућавају повезивање физичких и виртуелних објеката применом информационо-комуникационих технологија (Fatima и сарадници, 2022; Hofmann & Rüsч, 2017). Развој технологије сензора је значајно унапредио могућности постојећих сензор уређаја, чиме је омогућена њихова аутономна контрола и амбијентална интелигенција. Поред сензора, Интернет „интелигентних” уређаја примењује и бар код технологију, радиофреквентну идентификацију (енгл. *Radio Frequency Identification – RFID*), комуникацију путем *NFC* (енгл. *Near Field Communication*), Рачунарство у „облаку” (Li и сарадници, 2015) и друго.

Примена технологија Интернет „интелигентних” уређаја у индустрији назива се индустријски Интернет „интелигентних” уређаја (енгл. *Industrial Internet of Things - IIoT*) који има широку примену у производњи и користи технологију бежичних сензорских мрежа (енгл. *Wireless Sensor Networks - WSN*), где сензори детектују влажност, температуру, објекте и друго, као и *RFID* технологију, за идентификацију и лоцирање материјала и производа. Помоћу умрежених сензора, ове технологије омогућавају доступност информација дуж целог ланца вредности у производњи, чиме се омогућава правовремено управљање производњом, избегавање или минимизирање грешака, као и доступност података у реалном времену.

Примена технологија Интернет „интелигентних” уређаја омогућава комуникацију између уређаја, обављање задатака без људске интервенције, унапређује повезивање података, поједностављује мерење производних перформанси, повећава продуктивност рада и ефикасност комуникације. Такође, омогућава и комуникацију између уређаја и људи, удаљени приступ подацима и ефикасну

аутоматизацију складишта, скраћујући време за управљање залихама. Овим технологијама се прикупљају велике количине података, који се обрађују и користе за праћење оствареног учинка производње, операција, запослених и друго (Gaber и сарадници, 2018). Кључна предност примене технологија Индустијски Интернет „интелигентних” уређаја у управљању производњом је управљање енергијом и безбедношћу, повећање продуктивности запослених, замена или унапређење рада на радним местима са понављајућим активностима, повећање безбедности на радном месту, оптимизација искоришћености опреме и инвентара, смањење трошкова и друго (Rose и сарадници, 2015).

4.2. Сајбер безбедност

Технологија Сајбер безбедност (енгл. *Cyber Security - CS*) представљају технологије која су од велике важности за дигитализацију и аутоматизацију пословања, јер се користе за заштиту података и рачунарских мрежа, за откривање и спречавање сајбер напада, оштећења, прекиде у раду или упад потенцијалних уљеза, односно за заштиту сајбер простора од сајбер напада (CNSS, 2010; Kemmerer, 2003; Lewis, 2006). За успешну имплементацију ових технологија потребно је да се изврши обука запослених за разумевање значаја њене примене, као и важности управљања безбедношћу података.

Девет основних стратегија технологија Сајбер безбедности су (Ghelani, 2022): едукација запослених (у циљу што бољег разумевања и примене ових технологија и кажњавање уколико се не поступа у складу са циљевима пословања), превенција (заштита од неовлашћеног приступа подацима), надзор (праћење окружења за што брже откривање проблема и напада), одговор на детектовани проблем (предузимање мера за решавање насталог или уоченог проблема), обмана (лажне мреже), периметарска одбрана (додатна заштита са контролом приступа), сегментација (подела система због лакшег и бржег уочавања проблема) и слојевитост (више нивоа безбедности).

Ове технологије примењују различите алате за откривање напада, заустављање вируса, блокирање злонамерног приступа, спровођење идентификације, омогућавају шифровану комуникацију и друго (Amoroso & Amoroso, 2012).

Примена ових технологија обезбеђује доступност, поузданост, као и безбедан приступ подацима и информацијама у реалном времену, штитећи од неовлашћеног коришћења и приступања пословним и приватним подацима (Рајковић, 2024). Има значајну улогу у дигитализованом пословном систему, који је подложен масовним сајбер нападима, који могу негативно утицати на пословање комплетног предузећа и од великог је значаја за одржавање конкурентности на тржишту (Lezzi и сарадници, 2018). Такође, омогућавају прикупљање и организацију података и заштиту сајбер простора од неовлашћених појава (Craigen и сарадници, 2014). Примена ових технологија омогућава неометан рад производног процеса у континуитету и спречава губитак конкурентске позиције. Применом система за рано откривање упада и енкрипције, спречавају се напади, неовлашћени приступи и одржава се максималан рад опреме и машина, што утиче на одржавање и повећање ефикасности опреме. Примена одређених безбедносних мера доводи до очувања пословних тајни и спречавају се губици у производњи, као и губици поверења купаца (Lezzi и сарадници, 2018). Примена ових технологија спречава непланиране застоје у производњи, смањење квалитета производа и убрзава циклус рада (Zarreh и сарадници, 2019).

4.3. Сајбер-физички системи

Технологије Сајбер-физички системи (енгл. *Cyber-Physical Systems – CPS*) представљају једну од основних технологија Индустрије 4.0 јер повезује дигитално и физичко (стварно) окружење, пружајући синхронизацију и умрежавање дигиталних и физичких компоненти, са циљем постизања удаљене контроле и праћења извршавања активности и размене информација. Назив ових технологија први пут је коришћен 2006. године од стране *Helen Gill* из Националне научне фондације Сједињених Америчких Држава (Lee, 2015). Кључна карактеристика ових технологија је да, интегрисањем кибернетичких принципа, рачунара, односно хардвера и софтвера, и других уређаја, у реалном времену опажа промене, реагује, учи и прилагођава се новонасталој ситуацији (Alguliyev и сарадници, 2018; Lu, 2017). Ове технологије представљају специјализоване системе који се контролишу путем рачунара, а уграђени су у физичке објекте из окружења. Сајбер-физички системи су поуздани, прилагодљиви и применљиви за потребе различитих индустрија (Baheti & Gill, 2011).

Посебне карактеристике ових технологија су (Alguliyev и сарадници, 2018; Strandhagen и сарадници, 2017a): уграђено и мобилно „осећање”, односно употреба сензора, за мерење температуре, притиска, покрета, влажности, и друго; интеракција сајбер и физичких компоненти; могућност тренирања и способност прилагођавања; интероперабилност применом Интернета; обезбеђивање поузданог рада система са централизованом аутоматском контролом; постојање заједничког сајбер простора, који обезбеђује размену унутар система и са спољашњим окружењем, уз примену одређених безбедносних мера, попут: крипто система, заштитних зидова, антивируса и друго; робусност система, које се обезбеђује аутоматизованом и „интелектуалном“ контролом. Ове технологије користе сензоре, рачунаре и Интернет, за функционисање у реалном времену, чиме омогућавају комуникацију између дигиталног и физичког окружења (Duo и сарадници, 2022). Такође, ове технологије могу да се интегришу са другим технологијама, попут Интернет „интелигентних” уређаја, Индустијски Интернет „интелигентних” уређаја и Комуникација између машина, омогућавајући бољу синхронизацију података. Једна од важних примена ових технологија јесте предиктивно одржавање (Lee, 2015; Wagner и сарадници, 2017). Значај ових технологија огледа се у прикупљању података, као и предикцији застоја, кварова и грешака у раду алата и машина. Тиме се повећава поузданост машина, смањује се број кварова и повећава флексибилност производње (Derler и сарадници, 2011). Применом ових технологија смањују се трошкови и време интеграције са другим технологијама у производњи, омогућава се прилагођавање производних линија према различитим захтевима и потребама, омогућава се умрежени системи управљања, што је од изузетне важности за „паметне” фабрике (Baheti & Gill, 2011).

4.4. Рачунарство у „облаку”

Технологије Рачунарство у „облаку” (енгл. *Cloud Computing – CC*) омогућавају удаљени приступ и складиштење података на „облаку”, односно на Интернету. Применом ових технологија повећана је брзина и једноставност приступа подацима, којима је могуће приступити са унапред дефинисаним и додељеним подацима за пријаву и приступ, у циљу спречавања злоупотребе података, као и приступа од стране неовлашћених лица (Schwertner, 2017).

Основна сврха примене технологија Рачунарство у „облаку” је пружање услуга на захтев, са високом поузданошћу, скалабилношћу и удаљеном доступношћу у различитим окружењима (Ху, 2012). Ове технологије могу да се интегришу са другим технологијама Индустрије 4.0, попут Интернет „интелигентних” уређаја, чиме се може створити „интелигентан” производни систем који аутономно доноси одлуке и оптимизује производне процесе, чиме се унапређује ефикасност, конкурентност и флексибилност предузећа (Adamson и сарадници, 2017).

Примена ових технологија у производњи се односи на пренос, складиштење и обраду података путем Интернета (Wang и сарадници, 2015), чиме се обезбеђује скалабилност ресурса, смањење трошкова инвестиција у развој и управљање производним системима (Ren и сарадници, 2017). У производним предузећима, ове технологије се најчешће користе за смештање софтвера и апликација, који се користе за ефикасно и правовремено управљање производњом. Софтвери који се користе у производњи су из група (Mantravadi & Møller, 2019): *ERP (Enterprise Resource Planning)* и *MES (Manufacturing Execution Systems)*. *ERP* софтвер се састоји из више међусобно повезаних модула за управљање пословањем једног предузећа, са јединственом базом података, који се може користити за планирање производње, праћење стања залиха готових производа, материјала и сировина, праћење трошкова, оптимизацију коришћења ресурса, управљање наруџбинама и друго, чиме се смањују трошкови производње и побољшава ефикасност производног процеса. *MES*, односно систем специјализован за управљање и извршење производње, садржи информације од наруџбине до испоруке готових производа, и омогућава праћење, извештавање, управљање и оптимизацију производних активности у реалном времену, као и унапређење производње праћењем података о запосленим, машинама и осталим ресурсима. Ови софтвери се користе и за алокацију ресурса, генерисање извештаја, стандардизацију информација, као и праћење квалитета производног процеса.

4.5. Велики подаци и анализа података

Технологије Великих података (енгл. *Big Data* - *BD*) омогућавају рад са великом количином неструктурираних и структурираних података који су прикупљени из различитих извора и у различитим форматима, који се не могу обрадити

стандардним, конвенционалним методама, већ захтевају напредну аналитику, тј. Анализу података (енгл. *Data Analysis - DA*), која је утемељена на дугогодишњим математичким истраживањима и научној примени (Maksimchuk & Pershina, 2017; Wrobel-Lachowska и сарадници, 2018). Како би ове технологије могле да се примене за успешно управљање производњом, јако је важно да платформа за прикупљање података буде безбедна за складиштење, аналитику, визуелизацију, проток података, управљање подацима, инфраструктуру и безбедност (Cui и сарадници, 2020). Резултат примене ових технологија јесте „доношење одлука на основу познатих информација и знања, а не на основу сопствене маште”, чиме се унапређује постојећи систем знања (Shamim и сарадници, 2019).

Доношење одлука засновано на подацима одређује квалитет одлучивања у производњи (Li и сарадници, 2022), унапређује откривање кварова и подржава предиктивно одржавање (Moynе & Iskandar, 2017). Примена технологија Аналитике података за обраду велике количине података је све учесталија у пракси. Тиме се велике количине података могу чувати и анализирати и на основу тога доносити одлуке прилагођене пословном систему (Gupta & Starr, 2014). Примена ове две технологије у производњи доприноси повећању обима производње у производном окружењу где су присутни сложеност и варијабилност процеса, као и ограничени капацитети производње. Такође, примена ове две технологије заједно доприноси спровођењу квантитативних процена, које предузеће могу издвојити од конкурената (Auschwitzky и сарадници, 2014). Примена ових технологија омогућава ефикасније планирање у „паметној” производњи, стратешко доношење одлука у вези са производњом, маркетингом и мрежом снабдевања на основу података из *ERP*, *MES*, *CRM* (енгл. *Customer Relationship Management* - Управљање односима са купцима) и *SCM* (енгл. *Supply Chain Management* - Управљање ланцима снабдевања) софтвера, пренос критичних података између одељења за дизајн и производњу, као и обезбеђивање благовремених информација за доношење одлука (Cui и сарадници, 2020). Методе које су засноване на анализи Великих података утичу на управљање производним системом, док анализа података у вези са квалитетом производа могу унапредити квалитет производа и пружити подршку у доношењу одлука у вези са контролом и гаранцијом квалитета у целом производном систему (Li и сарадници, 2022). На основу резултата анкете приказаних у (McKinsey

Global Institute, 2011), примена технологија Великих података у производњи може смањити трошкове развоја производа и монтаже за 50 [%].

4.6. Комуникација између машина

Технологије Комуникација између машина (енгл. *Machine-to-Machine – M2M*) користе се код стандардизованих индустријских протокола, омогућавајући међусобну комуникацију између машина са малим учешћем или без учешћа човека, жичаним путем, чиме је омогућена комуникација без Интернета, али и бежична комуникација преко Интернета (Oztemel & Gursev, 2020). Ове технологије представљају „комуникацију између рачунара, уграђених процесора, „паметних” сензора, актуатора и мобилних уређаја, без или са минималном људском интервенцијом” (Chen и сарадници, 2012). Процесори служе за обраду података, док актуатори изводе одређене операције на основу прикупљених и обрађених података. Ове технологије представљају информационо-комуникационе технологије које могу да мере, реагују, обрађују и шаљу информације без или са малим учешћем људи, током фазе имплементације, конфигурације, рада и одржавања алата и машина у производном погону (Anton-Haro & Dohler, 2015). Засноване су на претпоставци да је машина умрежена са другим машинама важнија од појединачних неумрежених машина, као и да је, умрежавањем више машина, могуће креирати боље, више аутономно и „интелигентно” решење (Chen и сарадници, 2012). Применом ових технологија, аутоматски се преносе подаци између уређаја. Ове технологије су повезане са технологијом Великих података, због складиштења велике количине података, које се по потреби обрађују и примењују за даљи рад машина и алата у производном погону. Такође, повезане су и са технологијама Сајбер-физички системи, за повезивање дигиталних и физичких уређаја, као и технологијама Интернет „интелигентних” уређаја.

Ове технологије имају вишеструку примену у управљању производњом. Омогућавају праћење, контролу и рад машина, смањују учешће људи, читавају у реалном времену потрошњу ресурса у току производе (воде, уља и других ресурса) и обавештавају о неопходним допунама, како би се обезбедио континуиран рад машина, смањују број задатака који се понављају, пружају извештаје о утрошцима ресурса у производњи (Salama и сарадници, 2023). Такође, ове технологије могу

имати примену и у управљању објектима, праћењу и надзору, повезујући два или више уређаја за преношење података, као и за предиктивно одржавање и контролу рада машина и алата у производном погону.

4.7. Адитивна производња

Термин Адитивна производња (енгл. *Additive Manufacturing - AM*) усвојен је 14. јануара 2009. године у *West Conshohocken*, у Пенсилванији, на састанку званичног техничког комитета *ASTM F42* (енгл. *ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies*) и представља „процес спајања материјала са циљем израде делова на основу 3Д модела, слој по слој, за разлику од метода субтрактивне и формативне производње” (ASTM, 2015). Ове технологије се најчешће користе за малосеријску и појединачну производњу, због чега су у великој мери примењене у производњи. Врло често се, као синоним, користи термин тродимензионално (3Д) штампање. Ове технологије врши трансформацију дигиталног модела у физички, опипљив, 3Д модел, користећи дигитални алат *CAD* (енгл. *Computer Aided Design* - софтвер у ком је дизајниран 3Д модел) и физички уређај (3Д штампач) (Salkin и сарадници, 2018). Трансформација се врши помоћу 3Д штампача, који врши штампање дигиталног модела креираног у дигиталном алату у физички модел, путем адитивног процеса, слој по слој. Овај уређај може да користи различите врсте материјала за штампање, као што су метал, керамика, пластика и друго.

Велики значај овх технологија јесте креирање јединствених, модификованих, прилагођених, персонализованих, као и геометријски комплексних производа, у складу са потребама и жељама купаца, који не могу да се произведу на стандардан начин, односно применом стандардних машина и алата, и за којим је тражња најчешће врло мала (Torczak & Śliwa, 2021). Технологије Адитивне производње омогућавају веће задовољење потреба купаца и стварање јединствених производа нестандартних облика. Међутим, потребно је више времена за производњу, због често специфичних карактеристика производа, јер је рад 3Д штампача знатно спорији од рада стандардних индустријских машина, а капацитет самог уређаја је знатно мањи од капацитета индустријских машина. Материјали који се користе у адитивној производњи не захтевају велика улагања и доступни су на тржишту. Запослени који су ангажовани на адитивној производњи морају бити обучени за

рад у *CAD* софтверу, као и да познају спецификације материјала који се користе у овом начину производње. Овај тип производње често је ограничен због типа материјала с којим може да се врши адитивна производња. Због савремених материјала, тежина ових производа је доста мања у односу на производе који се производе на стандардним машинама (Gardan, 2017). Честа примена ових технологија је у производњи прототипова, због могућности брзе производње, модификација и тестирања производа, скраћивањем времена између развоја производа и његовог пласирања на тржиште (Wong & Hernandez, 2012). Главне предности ових технологија су смањена вредност финалног производа због ниских трошкова материјала и опреме, повећана брзина производње геометријски комплексних и захтевних производа, могућност производње геометријски сложених делова, смањење отпада материјала, што утиче на подизање укупне исплативости производње (Bourell, 2016). Са унапређивањем брзине рада 3Д штампача и унапређивањем карактеристика сировина за овакав тип производње, технологије Адитивне производње достижу висок ниво конкурентности у односу на друге технологије, машине и алате који се користе у производном процесу.

Применом ових технологија у производним предузећима могућа је производња комплексног производа нестандартног облика, пројектовање и дизајн производа према потребама и жељама купаца, без ограничења у виду геометријског облика, као и персонализација производа. Такође, смањено је укупно време производње, време за модификацију машина и алата, као и количина потребних ресурса за потребе производње. Адитивном производњом предузеће може да ојача конкурентску предност и позицију на тржишту, да произведе производ који не захтева даље склапање или обраду (Patalas-Maliszewska & Torczak, 2021), као и да значајно смањи количину отпада материјала при производњи, због унапред дефинисаних параметара у *CAD* софтверу. Ове технологије могу да се интегришу са технологијом Рачунарство у „облаку”, за праћење процеса производње и статуса материјала у реалном времену, као и грешака које могу настати у процесу производње. У адитивној производњи процес управљања отпадом је поједностављен, док процес рециклаже отпада постаје све учесталији, јер материјали који се користе у адитивној производњи могу да се рециклирају и поново употребе. Смањена је и потреба за великим складиштима, с обзиром да се адитивна производња користи за потребе производње малог обима.

4.8. Роботи

Роботи (енгл. *Robots* - *R*) представљају машине које самостално и аутономно извршавају одређене задатке и активности, утичући на подизање нивоа аутоматизације процеса. Они прате унапред програмирана упутства, помоћу сензора прикупљају податке из окружења и обрађују их, у циљу боље координације, доношења одлука и контроле. Роботи могу да извршавају тешке, сложене и задатке који се понављају.

Због тога што људи и роботи деле радни простор, јако је важна и интеракција човека са роботом (енгл. *Human-Robot Interaction*). Потребно је да робот „научи” своје задатке, путању кретања, да застане када је у покрету, а када наиђе на препреку. Такође, важно је и да „зна” када може да обавести човека да му помогне да изврши неку операцију или активност за коју није програмиран и „научен”. Заједнички рад људи и робота врло често доприноси бољим пословним резултатима и унапређеној и боље организованом производњи. Врло је важно унапред одредити шта човек може очекивати од робота, као и шта робот може „очекивати” од човека (Schneider & Bostelman, 2015). У производњи, роботи се самостално крећу и заобилазе препреке помоћу сензора. Такође, помоћу сензора, спречавају, али и утичу на смањење несрећа и повреда на раду, као и инцидената у производњи. У сарадњи са другим технологијама, применом технологије Вештачке интелигенције и камера, роботи могу да избегну друге објекте и препреке у погону, без интервенције оператера (Véscé и сарадници, 2021). Ова технологија је скупа и сложена за имплементацију. Такође, за управљање роботом потребно је стручно знање, које врло често није заступљено интерно у предузећу, што захтева додатне финансијске издатке за обуке или екстерно ангажовање особа за те потребе.

Примена робота у управљању производњом омогућава смањење броја грешака, као и фреквентност њиховог настајања, смањује време чекања оператера на попуњавање документације, као и време производње у току производног процеса, омогућава праћење података у реалном времену и смањује укупне трошкове производње, извршава задатке мерења производа и контроле квалитета и друго. Роботи се у производњи често користе као подршка или замена запосленима у пословима који имају велики број понављања, где је потребан велики физички

напор, где се извршавају задаци високог ризика, као што је употреба опасних и токсичних материјала и хемикалија, у пословима који немају адекватне услове за рад, попут високе температуре, високог притиска, велике количине токсичних гасова, и друго. Применом робота у управљању производњом растерећују се запослени на радним местима од прекомерног и понављајућег посла, чиме се повећава продуктивност по запосленом, као и могућност да се изводе сложенији послови које само људи могу да изврше (Caylag и сарадници, 2016). Такође, у поређењу са људима, роботи могу радити више сати непрекидно, чиме се утиче на повећање обима производње. Роботи изводе активности контроле производа са већом тачношћу и прецизношћу, што доводи до значајног смањења стопе грешака. Аутоматизована вођена возила (енгл. *Automated Guided Vehicles* - AGV), као врста робота који се користе у производњи, ефикасно спроводе транспорт материјала и готових производа унутар фабрике и производног погона, чиме се скраћује време транспорта (Grau и сарадници, 2020).

4.9. Виртуелна стварност

Технологије Виртуелне стварности (енгл. *Virtual Reality* - VR) или технологије имерзивног рачунарства (енгл. *Immersive Computing Technology*), често се описују и „као скуп технологија које омогућавају људима да доживе свет изван стварности на имерзиван начин” (Berg & Vance, 2017). Ове технологије омогућавају јединствену интеракцију са дигиталним окружењем, користећи чула корисника. До сада су се технологије развијале највише у складу са чулима вида, слуха и додира, а мање за чуло мириса и укуса. Помоћу адекватне опреме, технологије Виртуелне стварности омогућавају стварање потпуно нове, дигиталне, односно виртуелне стварности, креирајући нови свет, изолован од физичке стварности (Ustundag & Cevikcan, 2017). Ове технологије се у великој мери користе за симулације и тестирања у производњи, омогућавајући директну интеракцију човека и машине и проширење људске перцепције стварности, из физичке у виртуелну, као и за обучавање запослених. Заједно са технологијама Проширене стварности, ове технологије примену проналазе у виртуализацији стварног окружења корисника за обављање активности на интерфејсу прилагођеном кориснику, приказујући команде и визуелне презентације. На тај начин омогућена је и интеракција између машина и људи.

Такође, могућа је примена ових технологија и у сврху унапређења разумевања сложених процеса, кроз симулацију промена у производним процесима. Она се користи и у сврху обука и заједничког рада, омогућавајући комуникацију и сарадњу више сектора у вези са развојем производа у заједничком виртуелном окружењу. Могућа је и манипулација 3Д деловима производа у виртуелном окружењу, откривање грешака у дизајну производа пре пуштања у производњу, као и симулација склапања сложених производа помоћу виртуелне монтаже. На овај начин могуће је извршити модификацију и оптимизацију сложених производа и сложених монтажа. Примена ових технологија је могућа и за тестирање видљивости у различитим окружењима, кроз симулацију промене распореда у радном окружењу, чиме се испитује спремност и способност запослених да раде у таквим промењеним условима. Такође, примену је пронашла у тестирању прототипова, чиме се смањују трошкови и време производње и тестирања (Berg & Vance, 2017; Hamid и сарадници, 2014; Mujber и сарадници, 2004).

4.10. Проширена стварност

Технологије Проширене стварности (енгл. *Augmented Reality* - AR) представља технологије које, уз помоћ алата и уређаја, проширују људску перцепцију стварности, интегришу виртуелне информације у видно поље корисника, омогућавајући визуелно вођење и симулацију. Користе се за проширење окружења корисника и приказивање команди или визуелних презентација на корисничком интерфејсу потребних за извршење активности (Syberfeldt и сарадници, 2016). Омогућавају интеракцију човека са машином и најчешће се користе ради обуке запослених, као и извршавању задатака у реалном времену по унапред дефинисаним инструкцијама, који су дигитално доступни запосленом (dos Santos и сарадници, 2021a). За примену ових технологија користе се многи додатни уређаји помоћу којих се врши пренос информација, попут „пааметних” наочара, слушалица, телефона, таблета, пројектора и друго. Примена ових технологија у производњи омогућава рад без коришћења руку, нови облик интеракције запослених и приступ информацијама на нови начин, док на прихватање технологије утичу ергономски аспекти, корисност и употребљивост, прихватање и корисничко искуство (Zigart & Schlund, 2020).

Основна примена ових технологија у производим предузећима је виртуелно вођење, односно навигација кроз магацин, чиме се смањује број грешака и повећава ефикасност, удаљена комуникација и даљинска подршка експерата из области, као и виртуелна упутства у видном пољу корисника, као и обука радника (Blaga & Tamas, 2018). Ове технологије се користе и за: склапање (виртуелним приказивањем корака склапања, смањује се број непотребних покрета, спречавају се и смањују грешке у раду), одржавање и поправку производа (на основу виртуелних упутстава приказаних у видном пољу радника), пројектовање производа (рад са 3Д моделима у фази пројектовања и дизајна, са циљем унапређивања дизајна и структуре производа), обуку и подучавање радника (за извршавање сложених задатака или процедура), контролу квалитета (помоћ у провери производа) и друго (Bottani & Vignali, 2019). Резултати примене ових технологија су смањење грешака у раду и броја понављајућих покрета, као и унапређење безбедности и ефикасности. Примена технологија Проширене стварности помоћу уређаја као што су „паметни” телефони и наочаре, таблети и 3Д камере, омогућавају запосленима да прате приказана упутства, чиме је омогућено унапређење процеса сервисирања, смањење броја грешака и застоја у раду, лакше и брже испуњење задатака са смањеним бројем грешака, брже лоцирање места потребних алата за рад, брже и прецизније извршавање поправки, унапређена контрола квалитета у реалном времену, бржи пренос информација и прецизних инструкција за рад (Blanco-Novoa и сарадници, 2018). Ове технологије се користе за унапређење управљања логистиком у складиштима, применом уређаја „паметних” наочара, чиме се смањују ризици од повреда на раду, комплексност рада и количина утрошеног папира (за упутства), као и број грешака насталих од стране запослених, а повећава се количина доступних и важних информација, продуктивност, безбедност, брзина рада, флексибилност и прецизност, смањује се време испоруке, време за одабир и одвајање палета, чиме се унапређује процес мерења перформанси, као и укупна продуктивност (Husár & Knapčíková, 2021).

4.11. Пословна интелигенција

Технологије Пословне интелигенције (енгл. *Business Intelligence - BI*) односе се на рачунарски засноване технике које се користе за откривање и анализу интерних и

структурираних пословних података, пружајући историјске, тренутне и предиктивне погледе на пословање. Примена ових технологија је у областима пословног извештавања, *Online* аналитичке обраде података, рударење текста и података, управљање пословним учинком, као и за предиктивну аналитику (Sebotarean, 2011). Ове технологије пружају корисницима податке из прошлости који, применом скупа алата и техника, могу да се користе као помоћ менаџменту у унапређењу пословних процеса и доношењу одлука (Choi и сарадници, 2022). Односно, ове технологије обухватају процес издвајања, трансформације, управљања и анализе пословних података, често великог скупа података, како би се подржало доношење одлука (Niu и сарадници, 2009). Циљ примене ових технологија је да се унапреди правовременост и квалитет информација, као и да омогући руководиоцима да боље разумеју позицију предузећа, у односу на конкуренцију и променљиве услове пословања (Khan & Quadri, 2012).

Пет кључних фаза примене технологија Пословне интелигенције су (CSIRO, 2003):

1. **Извор података:** у првој фази врши се издвајање података из више извора, што у предузећу најчешће представљају пословне јединице, попут маркетинга, производње, људских ресурса и финансија. Ти издвојени подаци морају бити пречишћени, трансформисани у одређени облик, по потреби интегрисани и спремни за даљу анализу;
2. **Анализа података:** у другој фази се, применом различитих техника анализе података (рударење података, извештавање, визуелизација и моделирање), подаци претварају у информације или знање. Резултати ове друге фазе помажу руководиоцима да боље разумеју окружење и доносе боље одлуке;
3. **Свест о ситуацији:** трећа фаза представља дубоко разумевање тренутне ситуације и одлучивање на основу резултата друге фазе, што је кључно за доношење одлука;
4. **Процена ризика:** четврта фаза је од велике важности јер, на основу резултата из друге фазе, могуће је предвидети будуће догађаје, идентификовати прилике и претње и тиме предупредити ризике и проблеме у спољашњем и унутрашњем окружењу;
5. **Подршка одлучивању:** пета фаза јесте примена технологије са циљем помагања руководиоцима у доношењу одлука, на основу прикупљених пословних података.

Примена ових технологија је уобичајена за потребе анализе преференција купаца, променљивих трендова и услова на тржишту, анализе промена у понашању купаца и њиховим обрасцима куповине (Khan & Quadri, 2012). У производњи, ова технологија фокусира се на производњу у реалном времену и непосредно доношење одлука у производњи. Интеграцијом ових технологија у производњу омогућава се континуирана анализа и тренутно и брзо реаговање на основу података из производног процеса. Прикупљањем података са других уређаја (попут сензора) и интеграцијом са пословним софтверима (*ERP*, *MES*, *SCADA* и других), омогућава се праћење производног процеса у реалном времену, као и праћење и мерење времена производње, количина утрошених ресурса, као и других индикатора производње, идентификација „уских” грла у производњи, унапређење квалитета и оптимизација токова рада. Примена ових технологија доприноси тренутном уочавању одступања у производњи, где се обавештавају надређена и одговорна лица, чиме се омогућава брза реакција, примена корективних мера и редуковање губитака на времену у производном процесу. Применом ових технологија омогућена је транспарентност података и праћење у реалном времену, унапређена је контрола производње, као и смањено време и трошкови у производњи (Hänel & Felden, 2016). Такође, примена ових технологија омогућавају поједностављено праћење *KPI* у производњи, као и њихов транспарентан приказ, како руководству, тако и запосленима и радницима у производњи, што може утицати на ефикасност производње и продуктивност (Кемрег и сарадници, 2013). Ове технологије омогућавају и праћење образаца који воде до отказа рада машина, грешака или застоја, чиме је омогућено и предвиђање могућих застоја, кварова или одступања у квалитету производа. Интеграцијом података из више пословних јединица, тј. одељења, могуће је сагледати укупне трошкове и губитке који настају у производном процесу (Koch и сарадници, 2010).

4.12. Машинско учење

Технологије Машинског учења (енгл. *Machine Learning* - *ML*) представљају технологије која омогућавају континуирано учење из података, креирање алгоритама из разноврсних извора података, поређење и тестирање перформанси квалитета, као и решавање проблема са великом прецизношћу. Може се

дефинисати као: „Примена рачунара у ситуацијама где рачунари могу да „уче” из искуства и унапређују без експлицитног програмирања” (Baloglu и сарадници, 2022). Ове технологије примењују алгоритме за аутоматизацију процеса доношења одлука коришћењем модела који су креирани на подацима, а не ручно програмирани (Kufel и сарадници, 2023). Помоћу алгоритама, ове технологије откривају сложене зависности између података, али и стално унапређивање, кроз „учење” и „тренирање”, за боље предвиђање и доношење одлука (El Naqa & Murphy, 2015).

Технологије Машинског учења нашле су велику примену у управљању производњом. Праћење рада производних линија је од велике важности за остварење ефикасног производног процеса и стварање производа одређеног квалитета. У том процесу се генерише велика количина података, а над тим генерисаном скуповима података примењују се технологије Машинског учења, како би се анализирала производна линија, унапредила контрола квалитета, проценили ризици и смањили трошкови (Kang и сарадници, 2020). Ове технологије користе се за аутоматску анализу података прикупљених у производном процесу са циљем оптимизације производње, предиктивног одржавања и смањења застоја у производњи, односно применом ових технологија могу се предвидети кварови машина у производњи, на основу чега се примењује превремено одржавање, што доприноси смањењу трошкова, као и повећању ефикасности. Применом алгоритама Машинског учења, могу се уочити дефекти на производима и унапредити контрола квалитета производа (Cioffi и сарадници, 2020). Ове технологије се примењују и за аутоматско подешавање машина, као и оптимална подешавања, за смањење утrophка ресурса (Kang и сарадници, 2020). Применом ових технологија, регресионих модела и временских серија, врши се предвиђање тражње, као и управљање ресурсима, чиме се смањују трошкови складиштења. Ове технологије се примењују и као подршка при одлучивању, јер прикупљањем и анализом података, идентификују се обрасци понашања, застоја и грешака у производњи (Maug и сарадници, 2019). Применом ових технологија, предузеће може да креира алгоритам Машинског учења за скраћивање времена рада радника који врши контролу рада машина, смањи трошкове праћења квалитета рада машина, као и повећа капацитете машина у производњи (Jung и сарадници, 2021).

Из претходно наведеног, може се донети закључак да примена технологија Машинског учења имају велики значај у производњи, да унапређују производне процесе и смањују трошкове, као и застоје у раду и кварове машина. Примена ових технологија омогућава предиктивно одржавање, оптимизацију процеса, предвиђање тражње и унапређење контроле квалитета.

4.13. Вештачка интелигенција

Технологија Вештачка интелигенција (енгл. *Artificial Intelligence - AI*) представљају „информатичку дисциплину која се бави развојем система за обраду података и функција повезаних са људском интелигенцијом, чиме се редефинишу производни процеси и пословни модели у индустрији” (Peres и сарадници, 2020). Ове технологије „обрађују велику количину података великом брзином и варијацијом, са различитим степеном неизвесности, променљивости и сложености” (Васиљевић и сарадници, 2024). Такође, омогућавају предузећима да доносе одлуке на основу предиктивне аналитике засноване на подацима и често се користе у оквиру машинског учења и роботике за решавање проблема унутар предузећа, наглашавајући важност инфраструктуре података, алгоритама, доношења одлука и постизања конкретних циљева (Peres и сарадници, 2020; Strandhagen и сарадници, 2017).

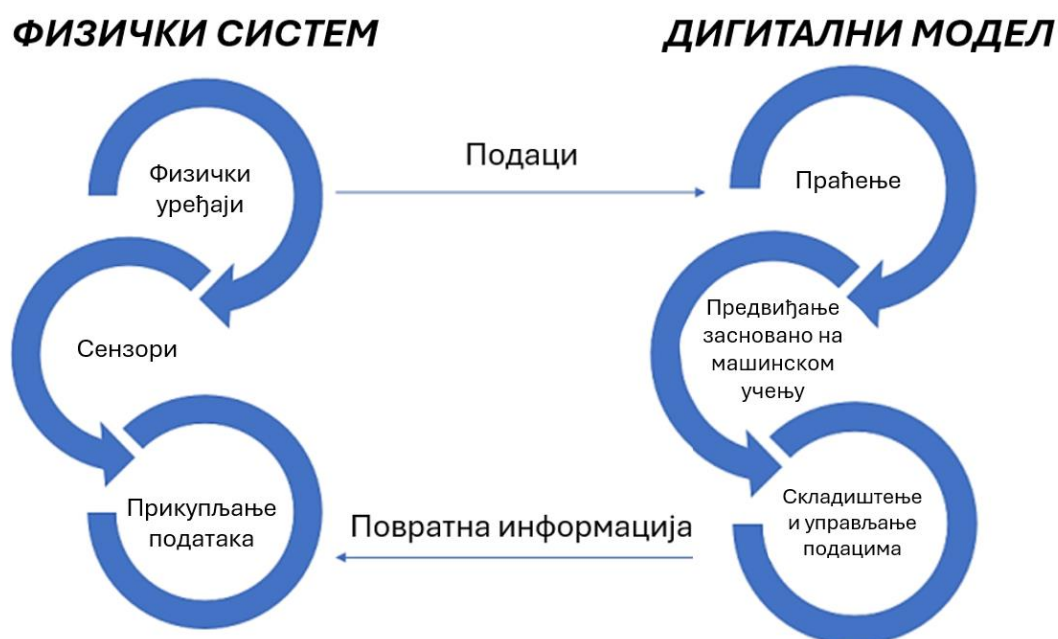
Помоћу ових технологија могуће је вршити предвиђање промена на тржишту и квара машина, смањити застоје и трошкове у производњи, што утиче на свеукупно унапређење квалитета производње и управљање производњом (Ћао и сарадници, 2017). Ове технологије анализирају стварне податке о стању машина и користе се за анализу и оптимизацију производних линија, смањење отпада, као и за предвиђање одржавања, чиме се врши превенција квара машина и алата у производњи. Може да прилагоди процес обуке према потребама и захтевима запослених, као и да анализира податке из производног процеса, упореди их са постављеним стандардима, на основу чега се доносе закључци и извршавају даља унапређења производног процеса, праћења остварених параметара у производњи и приказивања резултата у вези ефикасности производног процеса. Циљ примене је унапређење производних процеса, безбедност и задовољства запослених у производњи (Sahu и сарадници, 2021), елиминисање уских грла у производњи, интеграција са роботима за извођење задатака монтаже, паковања, а може се

користити и у контроли квалитета. Такође, технологије Вештачке интелигенције користе податке из различитих извора у производњи, за анализу и предвиђање потреба за ресурсима, као и за оптимизацију њихове употребе, чиме се повећава ефикасност и смањују трошкови у производњи. Важна примена ових технологија је за развој „интелигентних” система у фабрикама, чиме се максимизира продуктивност, минимизирају застоји и координирају послови логистике, складиштења и дистрибуције (Wan и сарадници, 2020). Применом ових технологија може се смањити потребан број оператера на производним линијама, скратити време испоруке, унапредити предвиђање тражње, дефинисати обрасце тражње, као и повећати ефикасност рада (dos Santos и сарадници, 2021). На основу података које користи, технологије Вештачке интелигенције могу да дефинишу препоруке за унапређење производње, попут смањења трошкова, утрошене количине електричне енергије, као и утрошеног времена производње (Bosch, 2022).

4.14. Дигитални близанац

Један од резултата примене концепата Индустрије 4.0 су Дигитални близанци (енгл. *Digital Twins - DT*). Дигитални близанци представљају „дигиталну реплику постојећег производа, машине, процеса или система, који омогућава предузећу да боље разуме, анализира и оптимизује своје процесе у реалном времену” (Rai и сарадници, 2021). Они омогућавају имплементацију концепта Индустрије 4.0 у производњи, односно развој „паметних” фабрика (Qi и сарадници, 2018). Применом Дигиталних близанаца, физички систем се трансформише у дигитални, стварајући дигиталну реплику физичких података, процеса и система и омогућавајући дигиталну симулацију стварности (Бабић и сарадници, 2020; Рајковић и сарадници, 2023). Модели за симулацију представљају специфичност овог технолошког концепта и јединствени су за свако предузеће (Boschert и сарадници, 2018). Дигитални близанац представља важан део „паметних” фабрика. Користи се за анализу производног процеса, за идентификовање потенцијалних унапређења, као и за креирање и симулацију различитих сценарија за доношење оптималних одлука за унапређење ефикасности и продуктивности (Shafto и сарадници, 2012; Shao & Helu, 2020). Упоредо са развојем технологија Индустрије 4.0, развијао се и Дигитални близанац, за чију је имплементацију била потребна

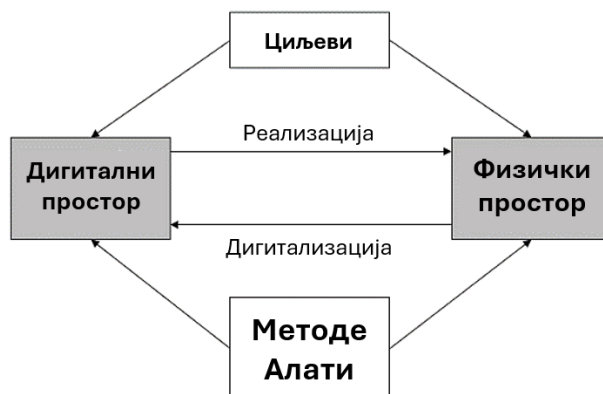
синхронизација више различитих технологија, попут (Liu и сарадници, 2021): Интернет „интелигентних” уређаја, сензори, 3Д скенери, камере, *RFID* читачи и тагови, Вештачка интелигенција, Машинско учење, Проширена стварност и друге. На Слици 10. приказана је веза физичког система и дигиталног модела у Дигиталном близанцу.



Слика 10: Веза физичког система и дигиталног модела у Дигиталном близанцу (Roy и сарадници, 2020)

Дигитални близанац представља јединствени систем који повезује развој и дизајн производа, инжењеринг и планирање производње, интегрисање услуга и процеса оперативне производње (Semeraro и сарадници, 2021), као и дигиталне информације које су у вези са физичким системом и примењује се за симулацију, како би се испитало понашање система, без утрошка или ризика повезаних са имплементацијом у физичком систему. Његова примена у производним предузећима омогућава, у реалном времену, унапређење управљања производњом, управљање животним циклусом производа, доношење правовремених одлука и анализу и контролу процеса (Shao & Helu, 2020).

На Слици 11. приказан је начин функционисања Дигиталног близанца.



Слика 11: Начин функционисања Дигиталног близанца (Hedberg и сарадници, 2018)

Дигитални близанац функционише на следећи начин: уз помоћ сензора и физичких уређаја, прикупљају се подаци из физичког система о раду машина и производних процеса и преносе се у виртуелни простор. Ти подаци се обрађују примењујући алгоритме технологије Машинског учења, а применом Дигиталног близанца врши се симулација и предвиђање, из чега следи унапређење постојећих производних процеса. Примена Дигиталног близанца у производњи може да буде доста захтевна и комплексна, јер подразумева превођење стварног, често и сложеног, физичког система у дигитални модел за потребе симулације. Он се у производњи користити за виртуелизацију и симулацију, праћење перформанси са циљем оптимизације процеса и смањења трошкова производње, праћење стања опреме (у циљу смањења броја и учесталости застоја у производњи и оптимизованог планирања производње), као и за оптимизацију ланца снабдевања.

Такође, Дигитални близанац се у производњи најчешће употребљава за (Бабић и сарадници, 2020): експлоатацију производа (симулира се експлоатација производа и доносе се одлуке у вези измене карактеристика или дизајна производа, са циљем што већег задовољења потреба и жеља купаца), унапређење управљања производњом (симулацијом различитих пословних ситуација, спречава се настанак грешака и отказа у производњи и повећава ефикасност производног процеса) и развој нових производа (праћење и мерење перформанси у стварном окружењу који утичу на развој новог производа). Применом Дигиталног близанца може се вршити управљање, праћење, оптимизација, одржавање и безбедност производног процеса

(Cimino и сарадници, 2019). Циљ примене Дигиталног близанца у производњи је унапређење планирања и реализације производње, као и унапређење управљања животним циклусом производа.

Постоје бројне предности примене Дигиталног близанца (Park и сарадници, 2019; Polini & Corrado, 2020; Shao & Helu, 2020): унапређена и правовремена контрола производног процеса, симулација производног процеса са циљем унапређења, као и скраћивања времена трајања производног циклуса, смањење потрошње електричне енергије, смањење времена потребног за реаговање на захтеве тржишта и промене на тржишту, подржавање оптимизације и континуирано унапређење производног процеса, унапређено управљање залихама сировина и готових производа, праћење производних перформанси, као и правовремена идентификација проблема у процесу монтаже и производње, што олакшава увођење неопходних измена и смањује различите неефикасности у производњи. У раду Shao и Helu (2020) наглашене су две посебно значајне предности примене Дигиталног близанца у производњи – смањење застоја у раду машина и алата и оптимизација плана и распореда послова у производном процесу. Дигитални близанац користи податке о производном процесу, машинама и алатима како би пратио, дијагностификовао и решавао проблеме, грешке и кварове који настану током производње. Оваква примена доприноси смањењу трошкова одржавања и сервисирања, као и спречавању застоја у производњи. Поред тога, Дигитални близанац прикупља податке директно са машина на производним линијама, преноси у *MES* или *ERP* софтвер, чиме омогућава увид у статус производње у реалном времену, као и у промене у наруџбинама, количинама сировина и готових производа на залихама. Примена Дигиталног близанца у пракси је заступљено у великој мери. Симулацијом у Дигиталном близанцу производних линија са честим застојима у раду, као и Дигиталном близанцу одређених радних места, отклоњени су застоји у производњи и смањено је потребно време за производњу (Fera и сарадници, 2019), чиме су оптимизовани производни процеси и токови, омогућавајући неометан рад производних линија (Bosch, 2022). Синхронизацијом рада са технологијом Индустријски Интернет „интелигентних“ уређаја, омогућено је праћење стварних података са производне линије и смањење трошкова производње (Park и сарадници, 2019).

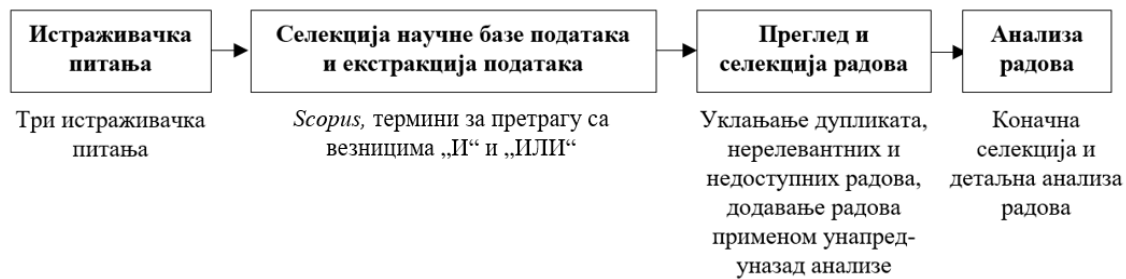
У овом поглављу приказан је ток развоја Индустријске револуције, разлози њеног настанка, резултати примене различитих технологија Индустрије 4.0, као и резултати увођења дигитализације и аутоматизације у производна предузећа. То је позитивно утицало на трансформацију пословања и омогућило унапређење пословних резултата, због чега су наведене могућности примене сваке од технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом. Овим је **потврђена** појединачна хипотеза истраживања *X(1.1): Дигитализација и аутоматизација омогућавају унапређење управљања производњом.*

5. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ О ПРИМЕНИ ТЕХНОЛОГИЈА ИНДУСТРИЈЕ 4.0 У УПРАВЉАЊУ ПРОИЗВОДЊОМ

У овом поглављу рада приказан је преглед литературе о примени технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом, како би се дефинисао скуп најчешће примењених технологија. У потпоглављу 5.1. представљена су дефинисана истраживачка питања и приказана је методологија истраживања. За претрагу научних и стручних радова коришћена је научна база података *Scopus*, док је анализа одабраних радова спроведена применом софтвера *VOSviewer*, као и додатном анализом, чији су резултати представљени у потпоглављу 5.2. У потпоглављу 5.3. приказана је дискусија резултата, са истицањем предности и недостатака појединачне примене технологија у управљању производњом. У потпоглављу 5.4. изведени су закључци и издвојене су најчешће примењене технологије Индустрије 4.0 у производним предузећима, као и скуп технологија које се често заједно користе, у циљу дигитализације и аутоматизације. Такође, у овом потпоглављу дати су одговори на истраживачка питања. Део резултата овог истраживања публиковано је у раду (Rajković и сарадници, 2025).

5.1. Методологија истраживања

Примењени методолошки кораци прегледа литературе у овом раду прилагођени су моделима представљеним у (Kitchenham и сарадници, 2009; Tomašević & Slović, 2022; Tranfield и сарадници, 2003; Xiao & Watson, 2019). Прва фаза представља дефинисање истраживачких питања. Друга фаза представља селекцију научне базе података, дефинисање термина за претрагу и екстракцију података. Трећа фаза представља преглед и селекцију радова, што је увод у четврту фазу, где се врши коначна селекција, преглед и детаљна анализа радова. Наведени кораци методологије истраживања представљени су на Слици 12. и укратко објашњени у наредним потпоглављима.



Слика 12: Методологија истраживања прегледа литературе о примени технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом (Rajković и сарадници, 2025)

5.1.1. Дефинисање истраживачких питања

На почетку овог истраживања, дефинисана су три истраживачка питања (ИП):

ИП1. На који начин технологије Индустрије 4.0 утичу на управљање производњом у производним предузећима?

ИП2. Да ли примена концепта Индустрије 4.0 унапређује управљање производњом?

ИП3. Које су највише и најчешће примењене, односно кључне технологије Индустрије 4.0 у производним предузећима?

5.1.2. Селекција научне базе података и преузимање података – методологија прегледа литературе

За потребе прегледа литературе у овом раду, извршено је преузимање списка научних и стручних радова из научне базе података *Scopus*, из разлога што *Scopus* има ширу базу часописа у свим областима (Mongeon & Paul-Hus, 2016) и већина часописа у овој научној бази покрива област „Технологије” (Singh и сарадници, 2021). База података је преузета у фебруару 2024. године.

На почетку су дефинисана два скупа термина за претрагу који се користе у овом истраживању. Први скуп је представљао све технологије Индустрије 4.0 које се користе у управљању производњом, прво појединачно, по технологији, а након тога, све технологије Индустрије 4.0 комбиноване заједно са везником „ИЛИ“ (енгл. *OR*): *internet of things, cyber security, cyber-physical systems, cloud computing, big data, robots, augmented reality, virtual reality, business intelligence, machine learning, artificial intelligence, additive manufacturing*. Други скуп термина за

претрагу односио се на производњу, као и на Индустрију 4.0, па су ови термини са везницима „ИЛИ“ и „И“ (енгл. AND) били: *”production management” OR ”manufacturing” AND ”industry 4.0”*. Коначно, термини за претрагу из оба скупа су комбиновани везником „И”. Преузимање података је обављено у три корака, који су представљени у наставку.

Прво преузимање података: На страници научне базе података *Scopus*, за претрагу примењена су додатна ограничења претраге, у оквиру опције „Претрага” (енгл. *Search option*). Одабрани су наслови радова, сажетака и кључних речи (енгл. *Article Title, Abstract and Keywords*), а претрага је спроведена по терминима са везницима, респективно (Упит 1): назив технологије (разликује се по претрази) AND *”production management” OR ”manufacturing” AND ”industry 4.0”*, у опсегу (енгл. *Range*) од 2018. до 2024. године (може се сматрати петогодишњим периодом, с обзиром да је база података преузета у току месеца фебруара 2024. године, па радови за 2024. годину нису обухваћени за целу 2024. годину). Додатни филтери су били:

- **Област (енгл. *Subject area*):** Инжењеринг (енгл. *Engineering*), Рачунарске науке (енгл. *Computer science*), Пословање, менаџмент и рачуноводство (енгл. *Business, Management and Accounting*), Одлучивање (енгл. *Decision Science*);
- **Тип документа (енгл. *Document type*):** изабрано је да буде чланак (енгл. *Article*) и извор рада (енгл. *Source type*) изабран је да буде часопис (енгл. *Journal*), с обзиром да су радови објављени у часописима прошли ригорознији процес прегледа и рецензија, што гарантује квалитет радова (González-Albo & Bordons, 2011);
- **Језик (енгл. *Language*):** изабран је енглески језик (енгл. *English*), с обзиром да је овај језик фаворизован над другим језицима (Mongeon & Paul-Hus, 2016) и аутори се све чешће одлучују за писање и објављивање радова на енглеском језику, што показује и број доступних радова на енглеском језику у пољима за филтрирање ове научне базе података.

Прва претрага научне базе података *Scopus* је извршена за сваку технологију посебно, као што је представљено у низу упита 1, где је први термин за претрагу био променљив, односно мењао се по називу технологије. Добијени су следећи резултати: *”Internet of Things”* – 832 резултата; *”Cyber security”* – 48 резултата; *”Cyber-physical Systems”* – 519 резултата; *”Cloud computing”* – 225 резултата; *”Big data”* – 398 резултата; *”Robots”* – 321 резултата; *”M2M”* – 29 резултата; *”Augmented*

Reality” – 122 резултата; “*Virtual Reality*” – 89 резултата; “*Business Intelligence*” – 12 резултата; “*Machine learning*” – 362 резултата; “*Artificial Intelligence*” – 443 резултата; “*Additive Manufacturing*” – 237 резултата. Сви радови су груписани у једну базу података (у програму *Microsoft Excel*) и укупно је било 3637 радова. Након изузимања дупликата по наслову рада, остало је укупно 2020 радова.

Упит 1: Прва претрага научне базе података *Scopus* - променљив први термин (назив технологије)

```
( TITLE-ABS-KEY ( "internet of things" ) AND TITLE-ABS-KEY ( "production management" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "manufacturing" ) AND TITLE-ABS-KEY ( "industry 4.0" ) ) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2025 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENGI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "COMP" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "DECI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "BUSI" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) ) AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE , "j" ) )
```

Друго преузимање података: Претрага је проширена комбинованом претрагом за све технологије, проширујући низ упита 1 са свим технологијама, и користећи везник *OR*, као што је представљено у низу упита 2. Филтери су остали исти, а претрага је резултирала са 2020 радова. Поређењем са резултатима добијеним из првог преузимања података, уочено је да су у питању истих 2020 радова.

Упит 2: Друга претрага научне базе података *Scopus* - обједињене све технологије

```
( TITLE-ABS-KEY ( "internet of things" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "cyber security" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "cyber-physical systems" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "cloud computing" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "big data" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "robots" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "m2m" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "augmented reality" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "virtual reality" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "business intelligence" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "machine learning" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "artificial intelligence" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "additive manufacturing" ) AND TITLE-ABS-KEY ( "production management" ) OR TITLE-ABS-KEY ( "manufacturing" ) AND TITLE-ABS-KEY ( "industry 4.0" ) ) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2025 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENGI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "COMP" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "DECI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "BUSI" ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar" ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , "English" ) ) AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE , "j" ) )
```

Треће преузимање података: С обзиром да је главна поставка овог истраживања била да се дефинише скуп најчешће примењених технологија Индустрије 4.0 за управљање производњом, а да су резултати из првог и другог преузимања података имали сувише велики број радова, углавном написаних уопштено о технологијама, а не о њиховој примени у производњи, у циљу смањења броја резултата по терминима за претрагу, додати су додатни критеријуми за претрагу са везницима „И“ и „ИЛИ“: *AND “production company” OR “manufacturing company”*, што је приказано у низу упита 3.

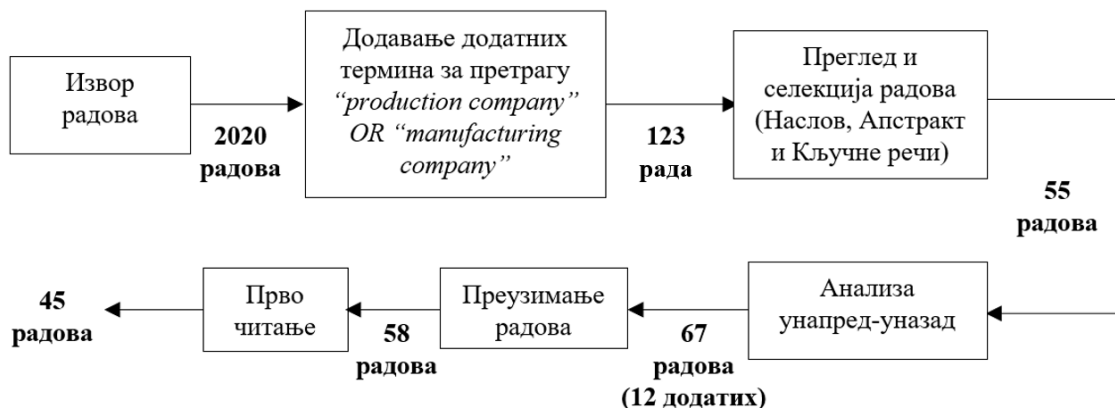
Упит 3: Трећа претрага научне базе података *Scopus* - додатни критеријуми претраге

(TITLE-ABS-KEY ("internet of things") OR TITLE-ABS-KEY ("cyber security") OR TITLE-ABS-KEY ("cyber-physical systems") OR TITLE-ABS-KEY ("cloud computing") OR TITLE-ABS-KEY ("big data") OR TITLE-ABS-KEY ("robots") OR TITLE-ABS-KEY ("m2m") OR TITLE-ABS-KEY ("augmented reality") OR TITLE-ABS-KEY ("virtual reality") OR TITLE-ABS-KEY ("business intelligence") OR TITLE-ABS-KEY ("machine learning") OR TITLE-ABS-KEY ("artificial intelligence") OR TITLE-ABS-KEY ("additive manufacturing") AND TITLE-ABS-KEY ("production management") OR TITLE-ABS-KEY ("manufacturing") AND TITLE-ABS-KEY ("industry 4.0") AND TITLE-ABS-KEY ("production company") OR TITLE-ABS-KEY ("manufacturing company")) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BUSI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "DECI")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j"))

Резултати ове претраге обухватају укупно 123 рада. База података је преузета користећи опцију „Извоз” (енгл. *Export*) свих докумената у CSV формату и означавањем опција „Информације о цитату” (енгл. *Citation information*), „Библиографске информације” (енгл. *Bibliographical information*) и „Сажетак и кључне речи” (енгл. *Abstract & Keywords*). Овако издвојена база података је коришћена за даљу анализу, која је представљена у наставку, а радови из базе су даље коришћени за следећу, трећу, фазу истраживања, преглед и одабир релевантних радова.

5.1.3. Преглед и селекција радова

Кораци методологије истраживања прегледа литературе приказани су на Слици 13.



Слика 13: Кораци селекције радова за детаљни преглед литературе (Rajković и сарадници, 2025)

Као што је наведено, прво и друго преузимање података резултирало је са 2020 радова, док је треће резултирало са 123 рада. Анализом наслова, сажетака и кључних речи ова 123 рада, уклоњени су ирелевантни и недоступни радови и издвојено је укупно 55 радова за детаљну анализу. Примењени су критеријуми искључивања и укључивања радова, односно, урађена је анализа „унапред-уназад”. „Анализа унапред” (енгл. *Forward analysis*) представља преглед радова који су цитирали посматране радове, док „анализа уназад” (енгл. *Backward analysis*) представља преглед радова који су референцирани у одабраним радовима (Xiao & Watson, 2019) и пронађено је додатних 12 радова који одговарају теми овог истраживања, што чини укупно 67 радова одабраних за детаљну анализу. Од 67 радова, за девет радова није био могућ приступ, нити преузимање, па је за даљи корак преостало 58 радова. Након детаљног читања, садржај 13 радова није био адекватан за детаљнију анализу, након чега је преостало 45 радова који су сматрани адекватним за детаљну анализу приказану у наставку. Ти радови су представљени у Табели 1.

Табела 1: Списак одабраних и анализираних научних и стручних радова на тему примене технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Аутори	Година издања	Назив рада	Назив часописа	Референца
1	Ambrogio G., Filice L., Longo F., Padovano A.	2022	"Workforce and supply chain disruption as a digital and technological innovation opportunity for resilient manufacturing systems in the COVID-19 pandemic"	Computers and Industrial Engineering	Ambrogio и сарадници, 2022
2	Angelopoulos J., Mourtzis D.	2022	"An Intelligent Product Service System for Adaptive Maintenance of Engineered-to-Order Manufacturing Equipment Assisted by Augmented Reality"	Applied Sciences (Switzerland)	Angelopoulos & Mourtzis, 2022
3	Arnarson H., Yu H., Olavsbråten M.M., Bremdal B.A., Solvang B.	2023	"Towards smart layout design for a reconfigurable manufacturing system"	Journal of Manufacturing Systems	Arnarson и сарадници, 2023
4	Bag S., Pretorius J.H.C., Gupta S., Dwivedi Y.K.	2021	"Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities"	Technological Forecasting and Social Change	Bag и сарадници, 2021
5	Belli L., Davoli L., Medioli A., Marchini P.L., Ferrari G.	2019	"Toward Industry 4.0 With IoT: Optimizing Business Processes in an Evolving Manufacturing Factory"	Frontiers in ICT	Belli и сарадници, 2019
6	Benotsmane R., Kacemi S.E., Dudás L., Kovács G.	2021	"Simulation of industrial robots' six axes manipulator arms – A case study"	Academic Journal of Manufacturing Engineering	Benotsmane и сарадници, 2021
7	Blanco-Novoa O., Fernandez-Carames T.M., Fraga-Lamas P., Vilar-Montesinos M.A.	2018	"A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard"	IEEE Access	Blanco-Novoa и сарадници, 2018
8	Chiu W.-Y., Meng W., Ge C.	2023	"NoSneaky: A Blockchain-Based Execution Integrity Protection Scheme in Industry 4.0"	IEEE Transactions on Industrial Informatics	Chiu и сарадници, 2023
9	Çiğdem Ş., Meidute-Kavaliauskiene I., Yıldız B.	2023	"Industry 4.0 and Industrial Robots: A Study from the Perspective of Manufacturing Company Employees"	Logistics	Çiğdem и сарадници, 2023

10	Dalmarco G., Ramalho F.R., Barros A.C., Soares A.L.	2019	"Providing industry 4.0 technologies: The case of a production technology cluster"	Journal of High Technology Management Research	Dalmarco и сарадници, 2019
11	dos Santos C.H., Gabriel G.T., do Amaral J.V.S., Montevechi J.A.B., de Queiroz J.A.	2021	"Decision-making in a fast fashion company in the Industry 4.0 era: a Digital Twin proposal to support operational planning"	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	dos Santos и сарадници, 2021
12	dos Santos L.M.A.L., da Costa M.B., Kothe J.V., Benitez G.B., Schaefer J.L., Baierle I.C., Nara E.O.B.	2021a	"Industry 4.0 collaborative networks for industrial performance"	Journal of Manufacturing Technology Management	dos Santos и сарадници, 2021a
13	Fera M., Greco A., Caterino M., Gerbino S., Caputo F., Macchiaroli R., D'amato E.	2020	"Towards digital twin implementation for assessing production line performance and balancing"	Sensors (Switzerland)	Fera и сарадници, 2020
14	Frank A.G., Dalenogare L.S., Ayala N.F.	2019	"Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies"	International Journal of Production Economics	Frank и сарадници, 2019
15	Freddi D.	2018	"Digitalisation and employment in manufacturing: Pace of the digitalisation process and impact on employment in advanced Italian manufacturing companies"	AI and Society	Freddi, 2018
16	Gavrus C., Petre I.M., Pârv L.	2024	"Industry 4.0—Premise for Sustainability: Implementation Degree in Manufacturing Companies from Romania"	Sustainability (Switzerland)	Gavrus и сарадници, 2024
17	Gualtieri L., Rauch E., Vidoni R.	2021	"Methodology for the definition of the optimal assembly cycle and calculation of the optimized assembly cycle time in human-robot collaborative assembly"	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Gualtieri и сарадници, 2021
18	Gupta M., Jauhar S.K.	2023	"Digital innovation: An essence for Industry 4.0"	Thunderbird International Business Review	Gupta & Jauhar, 2023
19	Husár J., Knapčíková L.	2021	"Possibilities of using augmented reality in warehouse management: A study"	Acta Logistica	Husár & Knapčíková, 2021

20	<i>Jałowiec T., Wojtaszek H.</i>	2022	<i>"Analysis of Directional Activities for Industry 4.0 in the Example of Poland and Germany"</i>	<i>Sustainability (Switzerland)</i>	<i>Jałowiec & Wojtaszek, 2022</i>
21	<i>Jan Z., Ahamed F., Mayer W., Patel N., Grossmann G., Stumptner M., Kuusk A.</i>	2023	<i>"Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities"</i>	<i>Expert Systems with Applications</i>	<i>Jan и сарадници, 2023</i>
22	<i>Jung H., Jeon J., Choi D., Park A.J.-Y.</i>	2021	<i>"Application of machine learning techniques in injection molding quality prediction: Implications on sustainable manufacturing industry"</i>	<i>Sustainability (Switzerland)</i>	<i>Jung и сарадници, 2021</i>
23	<i>Kannengiesser U., Frysak J., Stary C., Krenn F., Müller H.</i>	2021	<i>"Developing an engineering tool for Cyber-Physical Production Systems"; [Entwicklung eines Engineering-Werkzeugs für Cyber-Physische Produktionssysteme]</i>	<i>Elektrotechnik und Informationstechnik</i>	<i>Kannengiesser и сарадници, 2021</i>
24	<i>Kinkel S., Baumgartner M., Cherubini E.</i>	2022	<i>"Prerequisites for the adoption of AI technologies in manufacturing – Evidence from a worldwide sample of manufacturing companies"</i>	<i>Technovation</i>	<i>Kinkel и сарадници, 2022</i>
25	<i>Krzywdzinski M., Butollo F.</i>	2022	<i>"Combining Experiential Knowledge and Artificial Intelligence The Digital Transformation of a Traditional Machine-Building Company"</i>	<i>Management Revue</i>	<i>Krzywdzinski & Butollo, 2022</i>
26	<i>Kuo T.-C., Hsu N.-Y., Li T.Y., Chao C.-J.</i>	2021	<i>"Industry 4.0 enabling manufacturing competitiveness: Delivery performance improvement based on theory of constraints"</i>	<i>Journal of Manufacturing Systems</i>	<i>Куо и сарадници, 2021</i>
27	<i>Kwok T.H., Gaasenbeek T.</i>	2023	<i>"A production interface to enable legacy factories for industry 4.0"</i>	<i>Engineering Research Express</i>	<i>Kwok & Gaasenbeek, 2023</i>
28	<i>Leutert F., Bohlig D., Kempf F., Schilling K., Mühlbauer M., Ayan B., Hulin T. Stulp F., Albu-Schäffer A., Kutscher V., Plesker C., Dasbach T., Damm S., Anderl R., Schleich B.</i>	2024	<i>"AI-enabled Cyber-Physical In-Orbit Factory - AI approaches based on digital twin technology for robotic small satellite production"</i>	<i>Acta Astronautica</i>	<i>Leutert и сарадници, 2024</i>

29	Mahmood K., Karaulova T., Otto T., Shevtshenko E.	2019	"Development of cyber-physical production systems based on modelling technologies" [Küberfüüsiliste tootmissüsteemide arendamine modelleerimistehnoloogiate põhjal]	Proceedings of the Estonian Academy of Sciences	Mahmood и сарадници, 2019
30	Marti-Puig P., Touhami I.A., Perarnau R.C., Serra-Serra M.	2024	"Industrial AI in condition-based maintenance: A case study in wooden piece manufacturing"	Computers and Industrial Engineering	Marti-Puig и сарадници, 2024
31	Mourtzis D., Milas N., Vlachou A.	2018	"An internet of things-based monitoring system for shop-floor control"	Journal of Computing and Information Science in Engineering	Mourtzis и сарадници, 2018
32	Patalas-Maliszewska J., Topczak M.	2021	"A new management approach based on Additive Manufacturing technologies and Industry 4.0 requirements"	Advances in Production Engineering And Management	Patalas-Maliszewska & Topczak, 2021
33	Perno M., Hvam L., Haug A.	2023	"A machine learning digital twin approach for critical process parameter prediction in a catalyst manufacturing line"	Computers in Industry	Perno и сарадници, 2023
34	Pinzone M, Albè F., Orlandelli D., Barletta I., Berlin C., Johansson B., Taisch M.	2020	"A framework for operative and social sustainability functionalities in Human-Centric Cyber-Physical Production Systems"	Computers and Industrial Engineering	Pinzone и сарадници, 2020
35	Rosienkiewicz M.	2021	"Artificial intelligence-based hybrid forecasting models for manufacturing systems"	Eksploracja i Niezawodność	Rosienkiewicz, 2021
36	Schöggel J.-P., Rusch M., Stumpf L., Baumgartner R.J.	2023	"Implementation of digital technologies for a circular economy and sustainability management in the manufacturing sector"	Sustainable Production and Consumption	Schöggel и сарадници, 2023
37	Schöggel J.-P., Stumpf L., Baumgartner R.J.	2023	"The role of interorganizational collaboration and digital technologies in the implementation of circular economy practices—Empirical evidence from manufacturing firms"	Business Strategy and the Environment	Schöggel и сарадници, 2023
38	Stączek P., Pizoń J., Danilczuk W., Gola A.	2021	"Data Integration from Heterogeneous Control Levels for the Purposes of Analysis within Industry 4.0 Concept"	Sensors	Stączek и сарадници, 2021
39	Tay S.I., Alipal J., Lee T.C.	2021	"Industry 4.0: Current practice and challenges in Malaysian manufacturing firms"	Technology in Society	Tay и сарадници, 2021

40	Topczak M., Śliwa M.	2021	"Assessment of the possibility of using bayesian nets and petri nets in the process of selecting additive manufacturing technology in a manufacturing company"	Applied Computer Science	Topczak & Śliwa, 2021
41	Veile J.W., Kiel D., Müller J.M., Voigt K.-I.	2020	"Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry"	Journal of Manufacturing Technology Management	Veile и сарадници, 2020
42	Vuković M., Jorg O., Hosseinifard M., Fantoni G.	2022	"Low-Cost Digitalization Solution through Scalable IIoT Prototypes"	Applied Sciences (Switzerland)	Vuković и сарадници, 2022
43	Wan J., Yang J., Wang Z., Hua Q.	2018	"Artificial intelligence for cloud-assisted smart factory"	IEEE Access	Wan и сарадници, 2018
44	Wozniak J., Budzik G., Przeszlowski L., Chudy-Laskowska K.	2021	"Directions of the development of the 3d printing industry as exemplified by the polish market"	Management and Production Engineering Review	Wozniak и сарадници, 2021
45	Yildiz E., Møller C., Bilberg A.	2021	"Demonstration and evaluation of a digital twin-based virtual factory"	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Yildiz и сарадници, 2021

5.1.4. Анализа радова

Одабрани радови су детаљно анализирани. На основу података из научне базе података Scopus одговорено је на следећа питања:

- Који часописи имају највише радова објављених у истраживаној области?
- Каква је дистрибуција радова на истраживану тему у дефинисаном периоду (од 2018. до фебруара 2024. године)?
- Да ли одабране радове цитирају други аутори?
- Да ли су аутори углавном из праксе (практичари) или са универзитета, института, пословних школа (академци)?
- Које врсте истраживачких метода се користе у анализираним радовима?
- Из којих држава потичу аутори одабраних радова?

Урађене су и додатне анализе, као што су:

- Избор сврхе рада по методи истраживања;
- Списак технологија које се спомињу у радовима, издвојено по раду;

- Укупна учесталост појављивања технологија у анализираним радовима;
- Груписање технологија које се спомињу и примењују заједно у анализираним радовима.

5.2. Резултати истраживања

У овом потпоглављу су представљени резултати прегледа литературе о технологијама Индустрије 4.0 које се најчешће користе у производним предузећима и управљању производњом, како појединачно, тако и заједно.

5.2.1. Карактеристике узорка – анализа применом *VOSviewer* софтвера и самостална ауторска анализа

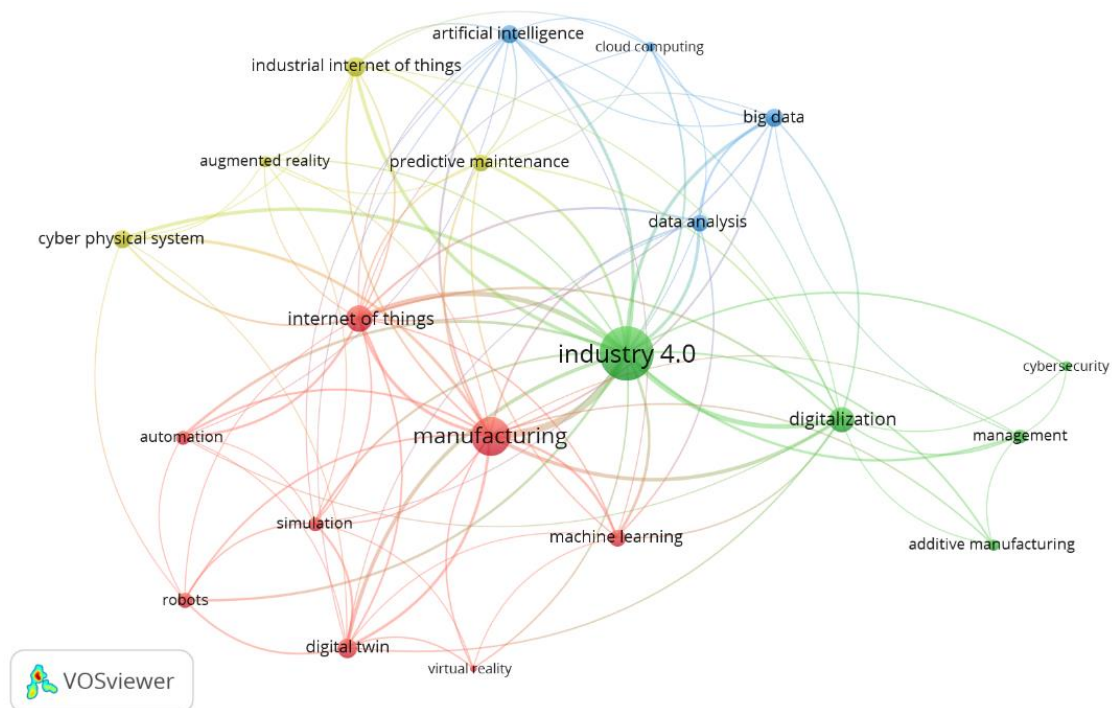
Софтвер *VOSviewer* представља бесплатан програм за преглед и конструисање библиометријских мапа које омогућавају олакшану интерпретацију анализе података, као и графички приказ (Van Eck & Waltman, 2010). Методологија коришћена у овом потпоглављу је следећа: прво је представљена анализа података 123 рада преузета из научне базе података *Scopus* применом софтвера *VOSviewer*, како би се представиле главне карактеристике ових радова. Применом критеријума укључивања и искључивања радова, одабрано је 45 радова, чија је анализа приказана. Од тих 45 радова, 37 је издвојено из *Scopus* базе, док је осам радова одабрано применом анализе „унапред-уназад“ и тих осам радова није укључено у *Scopus* базу података анализирану у софтверу *VOSviewer*.

5.2.1.1. Анализа применом софтвера *VOSviewer* – кључне речи и кластери

Анализа применом софтвера *VOSviewer* урађена је према кључним речима, јер „претрага по кључним речима пружа интуитиван и ефикасан начин да корисници комуницирају и истражују структуриране податке ускладиштене у бази података“ (Yu и сарадници, 2017). Издајање кључних речи представља важну технику за „рударење“ текста, груписање докумената и проналажење и сумирање утисака о документу, што може помоћи у доношењу одлука о избору докумената за читање (Matsuo & Ishizuka, 2004). Кључне речи представљају примарни садржај рада (Тао и сарадници, 2020). Изабране су кључне речи које дефинишу аутори (енгл. *Author*

Keywords, у даљем тексту кључне речи), а не индексне кључне речи (енгл. *Index Keywords*), јер те кључне речи нису биле наведене за све радове из базе, што би довело до непотпуне и неадекватне анализе.

Издвојена *Scopus* база података са 123 рада (у *CSV* формату) има укупно 431 кључну реч. Преузимањем ових кључних речи искључено је 240 кључних речи које нису сматране важним за тему овог рада. Преостала 191 кључна реч је коришћена за креирање датотеке тезауруса (енгл. *Thesaurus file*), која се користи за интегрисање синонимних појмова у један термин. Након тога, у софтвер *VOSviewer* додата је датотека од 22 групе кључних речи и са предефинисаним бројем појављивања 3. Укупно 21 кључна реч испунила је предефинисани број појављивања и груписана је у четири кластера, као што је приказано на Слици 14. Кластери представљају груписање кључних речи у скупове који су слични унутар кластера (кластери су приказани различитим бојама линија), где дебљина линије представља јачину њихове корелације (Danvila-del-Valle и сарадници, 2019), а кључна реч која има већи број понављања је представљена већим кругом и текстом већег фонта (Vošner и сарадници, 2016).



Слика 14: Четири кластера кључних речи из *Scopus* научне базе података
(Rajković и сарадници, 2025)

Према резултатима из VOSviewer софтвера, кључне речи су груписане у четири кластера:

- **Кластер 1 (зелене боје):** *Industry 4.0, Digitalization, Management, Additive Manufacturing, Cyber Security*;
- **Кластер 2 (црвене боје):** *Manufacturing, Internet Of Things, Machine Learning, Automation, Simulation, Digital Twin, Robots, Virtual Reality*;
- **Кластер 3 (плаве боје):** *Big Data, Data Analysis, Artificial Intelligence, Cloud Computing*;
- **Кластер 4 (жуте боје):** *Industrial Internet of Things, Predictive Maintenance, Cyber Physical System, Augmented Reality*.

Дефинисани кластери представљају везе између појмова. Што се тиче **кластера 1**, „Индустрија 4.0” (енгл. *Industry 4.0*) омогућава „дигитализацију” (енгл. *Digitalization*) процеса, док су „Адитивна производња” (енгл. *Additive Manufacturing*) и „Сајбер безбедност” (енгл. *Cyber Security*) технологије Индустије 4.0 које се примењују у производњи, што је такође повезано са „дигитализацијом”. „Менаџмент” (енгл. *Management*), односно управљање, омогућава координацију активности, па концепт Индустије 4.0 не би могао да се реализује без тога. У **кластеру 2**, „Интернет „интелигентних“ уређаја” (енгл. *Internet Of Things*), „Машинско учење” (енгл. *Machine Learning*), „Симулација” (енгл. *Simulation*), „Аутоматизација” (енгл. *Automation*), „Дигитални близанац” (енгл. *Digital Twin*), „Роботи” (енгл. *Robots*) и „Виртуелна стварност” (енгл. *Virtual Reality*) су технологије и технолошки концепти који се најчешће користе у „производњи” (енгл. *Manufacturing*), па су ови појмови повезани унутар овог кластера. Примена неких од ових технологија подразумева „аутоматизацију” процеса, док се многа испитивања и унапређења у производњи спроводе „симулацијом”. „Аутоматизација” и „Роботи” су термини који се обично користе заједно јер примена робота омогућава аутоматизацију процеса. Такође, „Симулација” и „Дигитални близанац” се обично користе заједно, јер Дигитални близанац омогућава виртуелну симулацију физичког система. У **кластеру 3**, „Велики подаци” (енгл. *Big Data*) и „Анализа података” (енгл. *Data Analysis*) обично се користе заједно и примењују са „Вештачком интелигенцијом” (енгл. *Artificial Intelligence*), где приступ подацима не би био могућ без „Рачунарства у „облаку”” (енгл. *Cloud Computing*), тако да су ови појмови чврсто повезани унутар овог

кластера. Што се тиче **кластера 4**, „индустријски Интернет „интелигентних” уређаја” (енгл. *Industrial Internet Of Things*), „Предиктивно одржавање” (енгл. *Predictive Maintenance*), „Сајбер физички систем” (енгл. *Cyber Physical System*) и „Проширена стварност” (енгл. *Augmented Reality*) су технологије и технолошки концепти који се најчешће примењују у производним предузећима и који су међусобно повезани.

5.2.1.2. Додатна анализа радова

У Табели 2. приказан је списак свих назива извора (часописа) у којима су објављени анализирани радови. На основу добијених резултата може се извести закључак да је ова тема интересантна многим часописима, јер је 35 часописа објавило радове на ову тему. Часописи *Computers and Industrial Engineering*, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* и *Sustainability (Switzerland)* имају највећи број објављених радова на ову тему, са по три рада по часопису.

Табела 2: Називи часописа у којима су одабрани радови објављени и број објављених радова по часопису (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Назив часописа	Број радова (у процентима)
1	Три рада по часопису: <i>Computers and Industrial Engineering</i> , <i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i> , <i>Sustainability (Switzerland)</i>	9 (20,01 [%])
2	Два рада по часопису: <i>Applied Sciences (Switzerland)</i> , <i>IEEE Access</i> , <i>Journal of Manufacturing Systems</i> , <i>Journal of Manufacturing Technology Management</i>	8 (17,76 [%])
3	Један рад по часопису: <i>Academic Journal of Manufacturing Engineering</i> , <i>Acta Astronautica</i> , <i>Acta Logistica</i> , <i>Advances in Production Engineering And Management</i> , <i>AI and Society</i> , <i>Applied Computer Science</i> , <i>Business Strategy and the Environment</i> , <i>Computers in Industry</i> , <i>Eksploracija i Niezawodnosc</i> , <i>Elektrotechnik und Informationstechnik</i> , <i>Engineering Research Express</i> , <i>Expert Systems with Applications</i> , <i>Frontiers in ICT</i> , <i>IEEE Transactions on Industrial Informatics</i> , <i>International Journal of Production Economics</i> , <i>Journal of Computing and Information Science in Engineering</i> , <i>Journal of High Technology Management Research</i> , <i>Logistics, Management and Production Engineering Review</i> , <i>Management Revue</i> , <i>Proceedings of the Estonian Academy of Sciences</i> , <i>Sensors</i> , <i>Sensors (Switzerland)</i> , <i>Sustainable Production and Consumption</i> , <i>Technological Forecasting and Social Change</i> , <i>Technology in Society</i> , <i>Technovation</i> , <i>Thunderbird International</i>	28 (62,23 [%])

	Business Review)	
Укупно	35	45 (100 [%])

На Слици 15. приказана је дистрибуција радова по години објављивања.



Слика 15: Дистрибуција анализираних радова по години објављивања, у периоду од 2018. до 2024. године (Rajković и сарадници, 2025)

Из приказаног са Слике 15. може се извести закључак да је ова тема била најпопуларнија 2021. године, са чак 16 објављених радова, док од те године тренд објављивања радова на ову тему полако опада, али не престаје се са објављивањем. Разлог за толики број радова објављених у 2021. години, може бити глобална пандемија *Covid-19*, под претпоставком да су многи радови послати у току 2020. године, али нису објављени те године због прекида у раду и у објављивању, узроковано појавом ове пандемије. Такође, прекид или кашњење у објављивању због ове ванредне ситуације утицало је да неки радови, намењени за објављивање 2020. године, буду објављени тек 2021. године. У 2020. години забележено је да су публикације настале међународном сарадњом имале значајан пад (Wagner и сарадници, 2022), што такође може бити додатни разлог. Што се тиче 2024. године, с обзиром да је база података преузета у фебруару 2024. године и до тог момента је већ било објављено три рада у 2024. години, претпоставка је да је још радова објављено у току 2024. године. Такође, са Слике 15. може се закључити да је број објављених радова кумулативно повећан, што показује да је тема и даље популарна и применљива на производна предузећа.

У Табели 3. приказан је број цитата и број цитираних радова, над посматраном базом од 45 изабраних радова. Занимљиво је истаћи да је пет радова цитирано преко 100 пута, а то су: *Bag* и сарадници (2021), *Blanco-Novo* и сарадници (2018), *Pinzone* и сарадници (2020) и *Veile* и сарадници (2020), док се један рад истиче са 1 457 цитата, у питању је рад *Frank* и сарадници (2019). Девет радова, у тренутку ове анализе, још увек није било цитирано.

Табела 3: Број цитата по раду (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Број цитата	Број цитираних радова (у процентима)
1	Преко 1 000	1 (2,22 [%])
2	Од 501 до 1 000	0 (0 [%])
3	Од 100 до 500	4 (8,89 [%])
4	Од 51 до 100	3 (6,67 [%])
5	Од 11 до 50	15 (33,33 [%])
6	Од 1 до 10	13 (28,89 [%])
7	0	9 (20 [%])
Укупно		45 (100 [%])

У Табели 4. приказан је профил аутора по раду. Није изненађујуће да су 34 (75,56 [%]) рада написали научни радници (са универзитета, института и пословних школа широм света), док је чак 10 (22,22 [%]) радова написано у сарадњи научних радника са запосленима у пракси, показујући стварну примену технологије у пракси. Само један рад (2,22 [%]) написао је аутор из праксе.

Табела 4: Профил аутора анализираних радова (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Профил аутора	Број радова (у процентима)
1	Научни радници	34 (75,56 [%])
2	Из праксе	1 (2,22 [%])
3	Академци и из праксе	10 (22,22 [%])
Укупно		45 (100 [%])

У Табели 5. представљене су примењене методе истраживања у радовима. Од укупно 45 радова, у 27 (или 60,00 [%] свих радова) приказане су студије случаја и резултати примењених посматраних технологија у производним предузећима, у 10 (или у 22,22 [%] свих радова) представљени су резултати анкета спроведених у производним предузећима, у четири (8,89 [%]) рада представљени су резултати

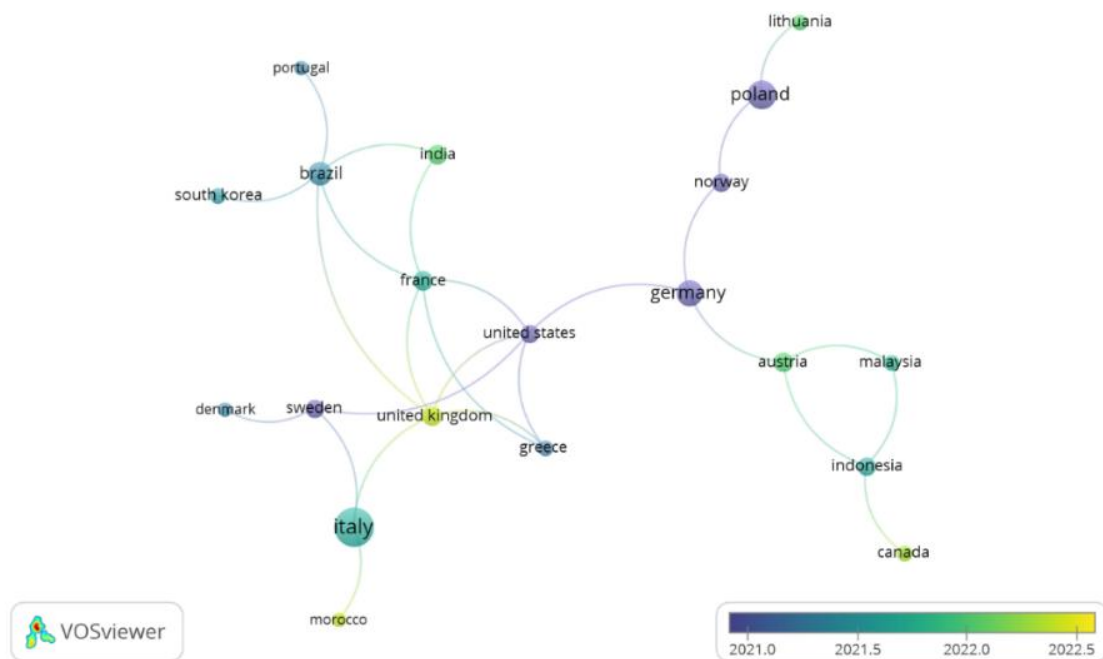
прегледа литературе у вези са технологијама Индустрије 4.0 и у два (4,44 [%]) рада представљени су резултати интервјуа обављених у производним предузећима. У једном раду (2,22 [%]) представљени су резултати студије случаја и интервјуа, док су у једном раду (2,22 [%]) представљени резултати студије случаја, интервјуа и анкете у производном предузећу.

Табела 5: Класификација анализираних радова по методи истраживања (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Метода истраживања	Број радова (у процентима)
1	Студија случаја	27 (60 [%])
2	Анкета	10 (22,22 [%])
3	Преглед литературе	4 (8,89 [%])
4	Интервју	2 (4,44 [%])
5	Студија случаја и интервју	1 (2,22 [%])
6	Студија случаја, интервју и анкета	1 (2,22 [%])
Укупно		45 (100 [%])

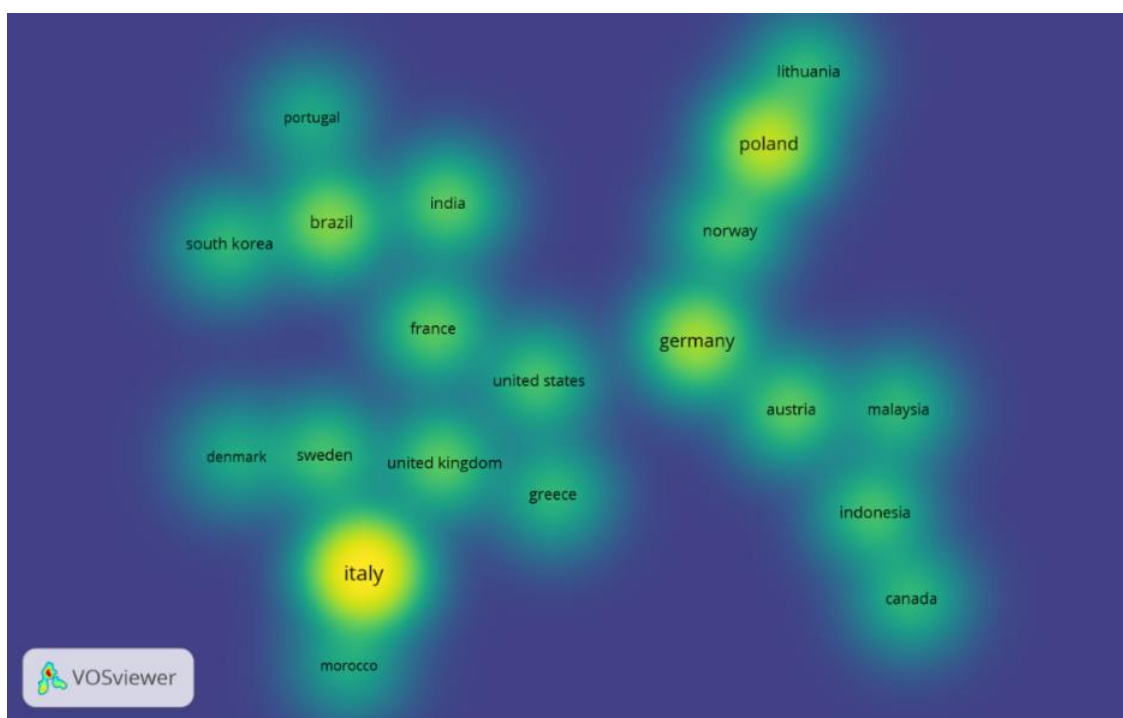
5.2.1.3. VOSviewer и додатна анализа – државе аутора

За даљу анализу узорка, у овом потпоглављу приказана је и додатна анализа одабраних радова. Прво је извршена анализа држава из којих аутори потичу. Државе чији су аутори највише сарађивали у изради посматраних радова (по 5 веза) су Бразил (веза са Јужном Корејом, Португалијом, Индијом, Француском и Великом Британијом), Француска (веза са Индијом, Бразилом, Великом Британијом, Грчком и САД), Велика Британија (веза са Бразилом, Француском, САД, Грчком и Италијом) и САД (веза са Француском, Великом Британијом, Шведском, Грчком и Немачком). Најмање повезани аутори су из држава: Португалија, Јужна Кореја, Данска, Мароко, Канада, Литванија, Пољска и Норвешка, са само једном везом по држави (Слика 16.).



Слика 16: Визуелизација повезаности држава одакле потичу аутори одабраних радова (Rajković и сарадници, 2025)

На Слици 17. приказана је визуелизација броја објављених радова помоћу VOSviewer софтвера.



Слика 17: Визуелизација броја објављених радова по државама одакле потичу аутори одабраних радова (Rajković и сарадници, 2025)

Као што је приказано на Слици 17., највише радова написано је од стране аутора из Италије, затим из Немачке и Пољске. Овај податак није изненађујући за Немачку, с обзиром да је концепт Индустрије 4.0 први пут представљен баш тамо, 2011. године, на сајму у ХанOVERу (Roјко, 2017). Најмање аутора је из Португала, Јужне Кореје, Данске, Марока, Грчке, Канаде, Индонезије, Малезије и Литваније. Анализом посматраних радова, закључује се да је највише аутора из Италије (10 аутора), док је по 9 аутора из Немачке и Пољске. Само један аутор по држави је из Алжира, Естоније, Индије, Казахстана, Литваније, Словачке, Јужне Африке и Уједињеног Краљевства.

Даље, укупно 95 аутора је из 29 држава, као што је приказано у Табели 6. Највише аутора је из Италије, Немачке, Пољске, Бразила, Аустрије, Данске и Кине, док је најмање аутора из Алжира, Естоније, Индије, Казахстана, Литваније, Словачке, Јужне Африке и Велике Британије (по један аутор по држави).

Табела 6: Државе одакле потичу аутори одабраних радова (Raјковић и сарадници, 2025)

Р.б.	Државе	Број аутора по држави (у процентима)
1	Италија	10 (10,53 [%])
2	Немачка, Пољска	9 (18,94 [%])
3	Бразил	8 (8,42 [%])
4	Аустрија	7 (7,37 [%])
5	Данска	6 (6,32 [%])
6	Кина	5 (5,26 [%])
7	Шпанија	4 (4,21 [%])
8	Норвешка, Јужна Кореја, Тајван	3 (9,48 [%])
9	Аустралија, Канада, Француска, Грчка, Мађарска, Малезија, Португалија, Румунија, Шведска, Турска	2 (21,10 [%])
10	Алжир, Естонија, Индија, Казахстан, Литванија, Словачка, Јужна Африка, Велика Британија	1 (8,40 [%])
Укупно	29	95 (100 [%])

Упоредјујући резултате добијене анализом у VOSviewer софтверу и анализом аутора, могу се уочити разлике. Додавањем радова анализом „унапред-уназад”, укључено је више држава у анализу и то: Кина (5 аутора), Шпанија (4 аутора), Тајван (3 аутора), Аустралија, Мађарска, Румунија и Турска (по 2 аутора), као и Алжир, Естонија, Казахстан, Словачка и Јужна Африка, са по једним аутором по држави.

5.2.2. Резултати истраживања одабраних радова

У циљу детаљне анализе сваког рада, у Табелама 7-12. приказани су одабрани радови, кључне речи и сврхе радова, класификовани према примењеним методама истраживања, које су приказане у Табели 5., радови у којим је примењена метода истраживања *студија случаја* (Табела 7.), радови у којим је примењена *метода истраживања анкета* (Табела 8.), радови у којим је примењена *метода истраживања преглед литературе* (Табела 9.), радови у којим је примењена *метода истраживања интервју* (Табела 10.), радови у којим су примењене *методе истраживања студија случаја и интервју* (Табела 11.) и радови у којим су примењене *методе истраживања студија случаја, интервју и анкета* (Табела 12.).

Табела 7: Приказ кључних речи и сврхе одабраних радова – метода истраживања: студија случаја (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Референца	Кључне речи	Сврха рада
1	Ambrogio и сарадници, 2022	<i>Additive manufacturing; COVID-19 pandemic; Digitalization; Industry 4.0; Manufacturing systems; Operator 4.0; Resilience; Supply chain disruption</i>	Анализа утицаја вируса <i>COVID-19</i> на радну снагу и стабилност снабдевања применом три решења заснована на технологијама Индустрије 4.0, и то: „ <i>Plug-and-Play</i> радник”, „Оператор на даљину 4.0” и „Предиктивно здравље оперативног особља”
2	Angelopoulos & Mourtzis, 2022	<i>Augmented Reality; Engineered-to-Order; Industrial PSS; Intelligent Product Service System; Maintenance; Product Service System (PSS)</i>	Дизајн и развој „интелигентног” система производа и услуга методом заснованом на принципима испоруке „интелигентне“ и прилагодљиве услуге, одржавања применом Вештачке интелигенције и алгорита за оптимизацију
3	Arnarson и сарадници, 2023	<i>Digital twin simulation; Industry 4.0; Layout problem for RMS; Reconfigurable manufacturing system (RMS)</i>	Интеграција одабраних технологија и технолошких концепата Индустрије 4.0 (попут <i>IIoT</i> , Вештачка интелигенција, напредна роботика, симулација, Дигитални близанац) и њихова оптимизација за креирање система „паметног” дизајна распореда у производњи, који се могу реконфигурисати, уводећи нови приступ за аутоматизацију реконфигурације ових процеса
4	Belli и сарадници, 2019	<i>Business process; Digitalization; Industry 4.0; Internet of Things; SmartFactory; SmartPlanner</i>	Приказ фаза унапређивања производних предузећа као основа за будући развој дигиталних технологија, интеграција података о оперативном статусу производних машина заснованих на сензорима и доступним залихама материјала на складиштима („паметна” фабрика, енгл. <i>SmartFactory</i>), креирање <i>Web</i> -алата („паметни” планер, енгл. <i>SmartPlanner</i>), све у циљу боље организације производње, без сложених калкулација за процену дужине трајања производних налога

5	Benotsmane и сарадници, 2021	Control scheme; Industrial robot; Open-loop and closed-loop simulations; PID controller	Приказ симулације индустријског робота са шест руку за манипулацију, користећи <i>PID</i> (енгл. <i>Proportional-Integral-Derivative</i>) контролер и упоређивање резултата
6	Blanco-Novoa и сарадници, 2018	Augmented Reality; Cyber-physical systems; Identification; Industrial augmented reality; Industrial Internet of Things; Industry 4.0; Internet of Things; Smart factory; Traceability	Приказ примене технолошког концепта индустријске проширене стварности (енгл. <i>Industrial Augmented Reality-IAR</i>) у бродоградњи, са циљем процене учинка у радионици бродоградилишта, као и у унутрашњости брода у изградњи
7	Chiu и сарадници, 2023	Blockchain technology; Execution integrity; Industry 4.0; Production system; Smart device	Приказ и објашњење шеме заштите производне линије од сајбер напада засноване на технологији <i>Blockchain</i> , под називом <i>NoSneaky</i>
8	dos Santos и сарадници, 2021	Artificial intelligence; Digital Twin; Discrete event simulation; Fast fashion; Industry 4.0; Operational planning	Приказ унапређења оперативног одлучивања, заснованог на технологијама и технолошком концепту Индустрије 4.0
9	Fera и сарадници, 2020	Internet of Things—IoT; Methodological framework; Production line performance; Simulation; Wearable devices	Предлог методолошког оквира коришћењем <i>IIoT</i> уређаја, попут сензора и алата за симулацију и креирање Дигиталних близанаца појединих процеса, подржавајући анализу индикатора перформанси производне линије и узимајући у обзир нумеричке и експерименталне податке, омогућавајући континуирано праћење балансирања линије и перформанси за оцену варирања тражње производње
10	Frank и сарадници, 2019	Digital transformation; Industry 4.0; Manufacturing companies; Smart Manufacturing	Предлог концептуалног оквира технологија Индустрије 4.0, који показује нивое прихватања технологије и импликације за примену у производним предузећима
11	Gualtieri и сарадници, 2021	Assembly cycle; Collaborative assembly; Collaborative robotics; Human-robot interaction; Industry 4.0	Предлог методе распоређивања радних задатака која одређује оптимални циклус склапања, узимајући у обзир примарне карактеристике процеса и производа, као и расподелу задатака између робота и људи
12	Husár & Knapčíková, 2021	Augmented reality; Pick-by-Vision system; Smart glasses; Warehouse management	Приказ резултата примене технологије Вештачке интелигенције и уређаја „паметних” наочара у управљању складиштем
13	Jung и сарадници, 2021	Autoencoder; Characteristics importance; Decision tree; Feature importance; Injection molding; Machine learning; Quality prediction; Regression	Представљање резултата истраживања о могућностима примене технологије Машинског учења за предвиђање квалитета производа у производном предузећу које користи машине за бризгање. Приказ примене алгоритама технологије Машинско учење за предвиђање и идентификацију фактора који утичу на квалитет производа

14	Kannengiesser и сарадници, 2021	<i>Collaborative Software Engineering; Cyber-Physical Production Systems (CPPS); Industry 4.0 (14.0); ISO/IEC/IEEE 42010:2011</i>	Представљање основних принципа алата који интегрише постојеће и нове референтне моделе, стандарде и методологије из области софтверског инжењеринга, аутоматизације производње и Индустрије 4.0, које су уграђене у нови модел колаборативног инжењеринга за сајбер-физичке производне системе (енгл. <i>Cyber-Physical Production Systems - CPPS</i>), наглашавајући његове иновативне аспекте и размену стечених знања током развоја и имплементације
15	Kuo и сарадници, 2021	<i>Buffer time control; Due date control; Industry 3.5; Industry 4.0; Theory of constraints</i>	Представљање система контроле датума доспећа (енгл. <i>Due Date Control - DDC</i>) повезаног са технологијама Индустрије 4.0, који има за циљ прецизно прикупљање података у реалном времену, за интеграцију са производним системима, прилагођен за контролу планова процеса кроз технологију Комуникација између машина. То подразумева и креирање система упозорења у току рада (енгл. <i>Work-in-Process - WIP</i>) који користи тај комуникациони метод у оквиру Индустрије 4.0, са циљем унапређења перформанси испоруке
16	Kwok & Gaasenbeek, 2023	<i>Automation; Computer vision; Industry 4.0; Internet of things; Production interface; Smart manufacturing</i>	Предлагање јединице <i>ORiON Production Interface (OPI)</i> за ефикаснији рад фабрика, ефикаснију и ефективнију примену опреме, као и за унапређење процеса праћења производње
17	Leutert и сарадници, 2024	<i>Artificial intelligence; Automated production; Digital twin; Machine learning; Robotic assembly; Satellite production; Teleoperation</i>	Приказ фабрике малих сателита, која користи Дигиталног близанца производње, детекцију грешака засновану на технологији Вештачка интелигенција и даљинско управљање Роботима, као и примену технологије Вештачке интелигенције и Робота за унапређење робусности, толеранције на грешке и аутономије процес производње, са главним фокусом на постизање аутоматизованог система производње
18	Mahmood и сарадници, 2019	<i>CPPS; IoT; Manufacturing systems; Process and data modelling</i>	Развој Сајбер-физичког производног система заснованог на технологијама за моделирање и предлог концепта за надоградњу конвенционалног производног система
19	Marti-Puig и сарадници, 2024	<i>Condition-based maintenance; Extreme learning machine; Induction motor; Industry 4.0; Predictive maintenance</i>	Приказ резултата примене индустријске Вештачке интелигенције за одржавање опреме у предузећу за производњу производа од дрвета, која подразумева предвиђање температуре 10 индукционих мотора, користећи методологију засновану на технологији Машинско учење и омогућавајући динамичко предвиђање температуре индукционих мотора
20	Mourtzis и сарадници, 2018	N/A	Приказ система за праћење стања машинских алата за контролу у производњи, применом технологије Интернет „интелигентних” уређаја

21	<i>Patalas-Maliszewska & Topczak, 2021</i>	<i>3D printing; Additive Manufacturing (AM); Balanced scorecard; Competitive advantage; Empirical research; Industry 4.0; Management; Smart manufacturing; Strategy</i>	Развој новог приступа управљања производњом применом технологије Адитивне производње и најбоље праксе, користећи резултате прегледа литературе и емпиријских истраживања спроведених у 250 производних предузећа у Пољској
22	<i>Perno и сарадници, 2023</i>	<i>Catalyst; Digital twin; Industry 4.0; Machine learning; Process industry; Virtual reality</i>	Приказ оквира за креирање Дигиталног близанца базираног на технологији Машинско учење, са циљем предвиђања критичних параметара процеса у процесној индустрији у реалном времену, нудећи увид у предности коришћења Дигиталних близанаца заснованих на технологији Машинско учење у процесној индустрији и наглашавајући неке од изазова повезаних са њиховом имплементацијом
23	<i>Pinzone и сарадници, 2020</i>	<i>Cyber-Physical Production System; Functionality; Human; Industry 4.0; Manufacturing; Performance; Social sustainability</i>	Приказ одговора на питања у вези утицаја Сајбер-физичких производних система на здравље, учење и оперативне перформансе запослених
24	<i>Rosienkiewicz, 2021</i>	<i>Artificial neural network; Extreme learning machine; Hybrid fore-casting; Maintenance; Production planning; Quality control; Support vector machine</i>	Предлог новог хибридног модела предвиђања кључних перформанси у производњи, који интегрише приступе засноване на технологији Вештачка интелигенција са конвенционалним техникама временских серија за планирање производње, одржавање и контролу квалитета производа, са фокусом на решавање ограничења приступа независним варијаблама, уводећи алгоритам за процену тачности предвиђања и избор оптималне методе прилагођене производним предузећима
25	<i>Stączek и сарадници, 2021</i>	<i>AGV (automated guided vehicles); AMR (autonomous mobile robots); Computer simulation; Digital twin; Industry 4.0; IoT</i>	Приказ примене Дигиталног близанца за тестирање радног окружења аутономног мобилног робота (енгл. <i>Autonomous Mobile Robot - AMR</i>)
26	<i>Vuković и сарадници, 2022</i>	<i>Embedded solutions; Industrial IoT; Industry 4.0; Low-cost; Prototyping; Retrofitting solutions</i>	Представљање брзог и јефтиног решења за израду прототипа производа, прилагођеног производним предузећима са застарелим машинама, са циљем преласка на примену технологија Индустрије 4.0, кроз приступ ниског ризика
27	<i>Wan и сарадници, 2018</i>	<i>Artificial intelligence; Cloud computing; Industry 4.0; Smart factory</i>	Приказ примене технологије Вештачке интелигенције у „паметној” фабрици која послује у „облаку” (енгл. <i>Cloud-assisted Smart Factory - CaSF</i>), представљајући примарне проблеме и техничке изазове са интеграцијом технологије Вештачке интелигенције у системе <i>CaSF</i> и предлагајући потенцијална решења за решавање ових изазова

Табела 8: Приказ кључних речи и сврхе одабраних радова – метода истраживања: анкета (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Референца	Кључне речи	Сврха рада
1	Bag и сарадници, 2021	<i>Artificial intelligence; Big data; Circular economy; Industry 4.0; Sustainable manufacturing</i>	Приказ притисака од стране менаџмента предузећа на ресурсе и њихове импликације за прихватање технологије Великих података коју покреће технологија Вештачке интелигенције (енгл. <i>Big Data Analytics powered by Artificial Intelligence - BDA-AI</i>), као и процена како то утиче на могућности одрживе производње и праксе циркуларне економије
2	Çiğdem и сарадници, 2023	<i>Human-robot collaboration; Industrial robots; Intention to use; Negative attitudes; Trust</i>	Приказ резултата анкете о ставовима запослених у вези примене робота, као и степен њихове спремности да раде са роботима
3	Gavrus Petre & Pârv, 2024	<i>Artificial intelligence; Benefits; Degree of implementation; Industry 4.0; Manufacturing; Sustainable development</i>	Приказ нивоа имплементације Индустрије 4.0 у производним предузећима у Румунији са циљем унапређења одрживости пословања
4	Jałowiec & Wojtaszek, 2022	<i>Industry 4.0; Innovation; Management; Organization; Process; Progress; Technologies</i>	Приказ главних карактеристика одабраних производних предузећа у Немачкој и Пољској које теже дигиталној зрелости
5	Kinkel и сарадници, 2022	<i>Artificial intelligence (AI); Digital skills; Industry 4.0; Machine learning (ML); Technology adoption; Technology-organization-environment framework</i>	Приказ резултата анкете спроведене у 655 производних предузећа, како би се приказали главни покретачи прихватања технологије Вештачке интелигенције, као и утицај различитих технолошких, организационих и еколошких (енгл. <i>Technological, Organizational and Environmental - TOE</i>) предуслова неопходних за успешно прихватање ове технологије у производним предузећима
6	Schögggl и сарадници, 2023	<i>Circular economy; Digitalization; Empirical study; Industry 4.0; Survey; Sustainable production</i>	Приказ резултата анкете спроведене у 31 производном предузећу о степену и фазама имплементације четири технологије (Интернет „интелигентних” уређаја, Анализа података, Вештачка интелигенција и <i>Blockchain</i>), у циљу одрживе циркуларне економије
7	Schögggl и сарадници, 2023	<i>Dynamic capabilities view; Empirical study; Industry 4.0; Statistical model; Vertical and horizontal collaboration</i>	Представљање ефеката праксе сарадње више предузећа на иницијативе и резултате успостављања циркуларне економије предузећа (одрживост и економски учинак), као и истраживање потенцијалне подстицајне улоге нових дигиталних технологија, на основу анкете спроведене у 112 производних предузећа у Аустрији

8	Tay и сарадници, 2021	<i>Data management; Industry 4.0; Industry 4.0 exploration; Internet of things; Manufacturing firms; Policy</i>	Приказ резултата квалитативног истраживања и дискусије у вези са тренутном праксом и изазовима у имплементацији Индустрије 4.0 у производним предузећима у Малезији
9	Topczak & Śliwa, 2021	<i>Additive manufacturing; Bayesian network; Petri nets; Process modeling</i>	Примена Бајесових мрежа (енгл. <i>Bayesian Network</i>) у планирању имплементације технологије Адитивне производње у производном предузећу
10	Wozniak и сарадници, 2021	<i>3D printing; Additive manufacturing; Industry 4.0; Production development; Production engineering</i>	Приказ развоја и примене Адитивне производње у производним предузећима у Пољској, кроз приказ резултата истраживања у вези са могућностима и ризицима имплементације концепта Индустрије 4.0 (са фокусом на понуду и примену технологије Адитивне производње) у предузећу

Табела 9: Приказ кључних речи и сврхе одабраних радова – метода истраживања: преглед литературе (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Референца	Кључне речи	Сврха рада
1	dos Santos и сарадници, 2021a	<i>Industrial performance; Industry 4.0; Manufacturing technology; Technology</i>	Предлог пет колаборативних мрежа које комбинују технологије концепта Индустрије 4.0: (1) „паметна” производња; (2) технолошке платформе; (3) тржишни одзив; (4) „паметни” производи и (5) флексибилност
2	Freddi, 2018	<i>Digitalisation; Employment; Industry 4.0; Manufacturing; Skills; Technological change</i>	Представљање ефекта дигитализације на запошљавање, анализирајући позитивне и негативне стране
3	Gupta & Jauhar, 2023	<i>Creativity and innovation; Digital innovation; Industry 4.0; Innovation management; Sustainability</i>	Представљање резултата детаљног прегледа литературе о важности примене дигиталних иновација у предузећима, са циљем да наставе са пословањем у ери Индустрије 4.0
4	Jan и сарадници, 2023	<i>Artificial intelligence; Industry 4.0; Machine Learning</i>	Приказ резултата прегледа литературе у вези са прихватањем технологије Вештачке интелигенције у контексту Индустрије 4.0 у различитим индустријским секторима

Табела 10: Приказ кључних речи и сврхе одабраних радова – метода истраживања: интервју (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Референца	Кључне речи	Сврха рада
1	Krzywdzinski & Butollo, 2022	<i>Ambidexterity; Industry 4.0; Innovation; Manufacturing; Skill formation</i>	Представљање резултата истраживања у предузећу из области машинске индустрије у вези са организацијом увођења и развоја дигиталних технологија у предузећу, као и њихов утицај на организациону структуру и праксу
2	Veile и сарадници, 2020	<i>Digital transformation; German companies; Implementation; Industrial Internet of Things; Industry 4.0; Qualitative research</i>	Приказ детаљнијег разумевања корака имплементације Индустрије 4.0

Табела 11: Приказ кључних речи и сврхе одабраних радова – метода истраживања: студија случаја и интервју (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Референца	Кључне речи	Сврха рада
1	Dalmarco и сарадници, 2019	<i>Industry 4.0; Portugal; Technology adoption; Technology management; Technology provider companies</i>	Представљање изазова и могућности у вези са прихватањем Индустрије 4.0 са становишта предузећа која се баве имплементацијом технологија

Табела 12: Приказ кључних речи и сврхе одабраних радова – метода истраживања: студија случаја, интервју и анкета (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Референца	Кључне речи	Сврха рада
1	Yildiz и сарадници, 2021	<i>Digital twin; Industry 4.0; Manufacturing planning; Optimisation; Simulation; Virtual factory; Virtual manufacturing; Virtual reality</i>	Представљање резултата презентације, као и евалуација, дискусија и аргументација стручњака из области производње о уведену виртуелном фабричком оквиру заснованом на Дигиталном близанцу у производњи, дизајнираном да омогући моделирање, симулацију и евалуацију сложених производних система, користећи сценарије учења и обуке применом технологије Виртуелне стварности, у сарадњи са више корисника

Прво је извршена анализа две врсте података:

1. Која технологија се најчешће спомиње у радовима (Табела 13. и Табела 14.) и
2. Који је најчешћи скуп технологија који се помињу заједно (Табела 15.).

У Табели 13. представљени су број и врста технологија Индустрије 4.0 које се

помињу, по сваком од анализираних радова, као и укупан број технологија по раду. Три рада имају приказ по пет технологија, што је највише приказаних технологија по раду. У четири рада наведено је по четири технологије, у четири рада по три технологије, у осам радова наведено је по две технологије, док је у 26 радова приказана само по једна технологија.

Табела 13: Број и врста технологија Индустрије 4.0 по посматраним радовима (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Референца	Интернет „интелигентних“ уређаја	Сајбер безбедност	Сајбер-физички системи	Рачунарство у облаку”	Велики подаци	Роботи	Комуникација између машина	Проширена стварност	Виртуелна стварност	Пословна интелигенција	Машинско учење	Вештачка интелигенција	Адитивна производња	Укупно
1	<i>Dalmarco</i> и сарадници, 2019			1	1	1			1					1	5
2	<i>Jan</i> и сарадници, 2023	1			1							1	1	1	5
3	<i>Wozniak</i> и сарадници, 2021	1		1		1	1							1	5
4	<i>dos Santos</i> и сарадници, 2021a	1		1	1	1									4
5	<i>Freddi</i> , 2018	1				1	1		1						4
6	<i>Gupta & Jauhar</i> , 2023			1	1				1				1		4
7	<i>Wan</i> и сарадници, 2018	1			1		1						1		4
8	<i>Blanco-Novoa</i> и сарадници, 2018	1		1					1						3
9	<i>Schögg</i> и сарадници, 2023	1				1							1		3
10	<i>Schögg</i> и сарадници, 2023	1				1							1		3
11	<i>Ambrogio</i> и сарадници, 2022								1	1				1	3
12	<i>Angelopoulos & Mourtzis</i> , 2022	1							1						2
13	<i>Bag</i> и сарадници, 2021					1							1		2
14	<i>Frank</i> и сарадници, 2019	1				1									2
15	<i>Jung</i> и сарадници, 2021											1	1		2
16	<i>Kinkel</i> и сарадници, 2022											1	1		2
17	<i>Leutert</i> и сарадници, 2024						1						1		2

18	<i>Mahmood</i> и сарадници, 2019	1		1											2
19	<i>Perno</i> и сарадници, 2023								1		1				2
20	<i>Arnarson</i> и сарадници, 2023											1			1
21	<i>Belli</i> и сарадници, 2019	1													1
22	<i>Benotsmane</i> и сарадници, 2021						1								1
23	<i>Chiu</i> и сарадници, 2023							1							1
24	<i>Çiğdem</i> и сарадници, 2023						1								1
25	<i>dos Santos</i> и сарадници, 2021											1			1
26	<i>Fera</i> и сарадници, 2020	1													1
27	<i>Gavrus Petre & Pârv</i> , 2024											1			1
28	<i>Gualtieri</i> и сарадници, 2021						1								1
29	<i>Husár & Knapčiková</i> , 2021								1						1
30	<i>Jałowiec & Wojtaszek</i> , 2022						1								1
31	<i>Kannengiesser</i> и сарадници, 2021			1											1
32	<i>Krzywdzinski & Butollo</i> , 2022											1			1
33	<i>Kuo</i> и сарадници, 2021							1							1
34	<i>Kwok & Gaasenbeek</i> , 2023	1													1
35	<i>Marti-Puig</i> и сарадници, 2024											1			1
36	<i>Mourtzis</i> и сарадници, 2018	1													1
37	<i>Patalas-Maliszewska & Topczak</i> , 2021												1		1
38	<i>Pinzone</i> и сарадници, 2020			1											1
39	<i>Rosienkiewicz</i> , 2021											1			1
40	<i>Stączek</i> и сарадници, 2021					1									1
41	<i>Tay</i> и сарадници, 2021	1													1
42	<i>Topczak & Śliwa</i> , 2021												1		1
43	<i>Veile</i> и сарадници, 2020	1													1
44	<i>Vuković</i> и сарадници, 2022	1													1
45	<i>Yildiz</i> и сарадници, 2021								1						1

У Табели 14. приказана је учесталост појављивања технологија Индустрије 4.0 по врстама технологија у одабраним радовима.

Табела 14: Укупан број појављивања технологија, по врсти технологије, у одабраним радовима (Рајковић и сарадници, 2025)

Р.б.	Технологија	Укупан број појављивања технологије у радовима
1	Интернет „интелигентних” уређаја	18 (40 [%])
2	Вештачка интелигенција	15 (33,33 [%])
3	Велики подаци	9 (20 [%])
4	Сајбер-физички системи	8 (17,78 [%])
5	Роботи	8 (17,78 [%])
6	Проширена стварност	7 (15,56 [%])
7	Адитивна производња	6 (13,33 [%])
8	Рачунарство у „облаку”	5 (11,11 [%])
9	Машинско учење	4 (8,89 [%])
10	Виртуелна стварност	3 (6,67 [%])
11	Комуникација између машина	2 (4,44 [%])
12	Сајбер безбедност	0 (0 [%])
13	Пословна интелигенција	0 (0 [%])
Укупно		45 (100 [%])

Најчешће споменуте технологије Индустрије 4.0 у производним предузећима (Табела 14.) су Интернет „интелигентних” уређаја - 18 појављивања (40 [%]), Вештачка интелигенција - 15 појављивања (33,33 [%]) и Велики подаци - 9 појављивања (20 [%]). Није било примера имплементације технологија Сајбер безбедности и Пословне интелигенције (0 појављивања, односно 0 [%]), па се може закључити да њихова примена још увек није предмет научног истраживања.

У Табели 15. приказан је број појављивања комбинација технологија, односно технологија које се заједно помињу у анализираним радовима и које се могу међусобно комбиновати и применити. На основу ове табеле може да се закључи која комбинација технологија се најчешће примењује у пракси.

Табела 15: Број комбинација технологија у одабраним радовима (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Технологија	Сајбер-физички системи	Рачунарство у „облаку”	Велики подаци	Роботи	Проширена стварност	Виртуелна стварност	Машинско учење	Вештачка интелигенција	Адитивна производња
1	Интернет „интелигентних” уређаја	4	3	6	3	3		1	4	2
2	Сајбер-физички системи		3	3	1	3			1	2
3	Рачунарство у „облаку”			2	1	2		1	3	2
4	Велики подаци				2	2			3	2
5	Роботи					1			2	1
6	Проширена стварност						1		1	1
7	Виртуелна стварност							1		
8	Машинско учење								3	1
9	Вештачка интелигенција									1

Резултат анализе показује да се Интернет „интелигентних” уређаја најчешће комбинује са другим технологијама (са технологијама Сајбер-физички системи, Рачунарство у „облаку”, Велики подаци, Роботи, Проширена стварност, Виртуелна стварност, Машинско учење, Вештачка интелигенција и Адитивна производња, укупно 26 примера), Велики подаци (са технологијама Интернет „интелигентних” уређаја, Сајбер-физички системи, Рачунарство у „облаку”, Роботи, Проширена стварност, Вештачка интелигенција и Адитивна производња, са по 20 примера) и Вештачка интелигенција (са технологијама Интернет „интелигентних” уређаја, Сајбер-физички системи, Рачунарство у „облаку”, Велики подаци, Роботи, Проширена стварност, Машинско учење и Адитивна производња, укупно 18 примера). За остале технологије уочено је много мање комбинација са другим технологијама. Због свега наведеног, може се закључити да се ове три технологије користе у великој мери у пракси. Такође, на основу приказаних података, може се закључити да постоји више скупова технологија које се помињу заједно.

Комбинације технологија које су најчешће примењиване у производним предузећима су:

1. **Интернет „интелигентних” уређаја**, најчешће се комбинује са технологијама Велики подаци (6 радова), Сајбер-физички системи (4 рада) и Вештачка интелигенција (4 рада);
2. **Сајбер-физички системи**, најчешће се комбинује са технологијама Рачунарство у „облаку” (3 рада), Велики подаци (3 рада) и Роботи (3 рада);
3. **Вештачка интелигенција**, најчешће се комбинује са технологијама Интернет „интелигентних” уређаја (4 рада), Рачунарство у „облаку” (3 рада), Велики подаци (3 рада) и Машинско учење (3 рада).

Остале комбинације односе се на две или једну технологију. Према овим анализама може се закључити да је Интернет „интелигентних” уређаја најпогоднија технологија за примену и најчешће се комбинује са другим технологијама у производним предузећима, што важи и за технологије Велики подаци и Вештачка интелигенција, али у нешто мањој мери. Важно је истаћи да се технологија Виртуелна стварност комбинује само са технологијом Проширена стварност. У истој табели нису представљене технологије Сајбер безбедност, Комуникација између машина и Пословна интелигенција, јер нису комбиноване са неком другом технологијом у анализираним радовима. Према томе, може се закључити да ове технологије нису погодне за комбиновање са другим технологијама или се у пракси не примењују или не комбинују са неким другим технологијама, посматрано у анализираним радовима.

5.3. Дискусија резултата

Како би се адекватно одговорило на сва три дефинисана истраживачка питања, у наставку су представљене главне предности и недостаци концепта Индустрије 4.0, као и предности и недостаци примене технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

У Табели 16. приказане су главне предности и недостаци технологија на основу детаљне анализе одабраних радова. Међутим, мора се напоменути да није сваки рад истакао предност или недостатак примене технологија, па из тог разлога неће сви радови бити наведени. У већини радова недостаци и препреке имплементације нису наведени, јер су аутори анализираних радова углавном били фокусирани на навођење унапређења, као резултата примене технологије у производним предузећима.

Табела 16: Предности и недостаци примене технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима (Rajković и сарадници, 2025)

Р.б.	Технологија	Предности	Недостаци
1	Интернет „интелигентних“ уређаја (Belli и сарадници, 2019; Mourtzis и сарадници, 2018; Schögggl и сарадници, 2023)	Смањење трошкова производње; Унапређена контрола квалитета производа; Детекција грешака у реалном времену; Правовремене реакције на грешке у производњи; Једноставна имплементација; Прикупљање података из производних процеса;	Нису прецизно наведене
2	Сајбер безбедност	Нису прецизно наведене;	Нису прецизно наведене
3	Сајбер-физички системи (Kannengiesser и сарадници, 2021; Mahmood и сарадници, 2019; Pinzone и сарадници, 2020)	Ефикасан и ефективни процес производње; Брже учење оператера; Повећано задовољство запослених; Велика количина информација; Унапређен квалитет комуникације; Проширење, флексибилност тржишта и рутирање операција; Повећана продуктивност; Побољшан квалитет производње; Временска ефикасност; Ефикасност трошкова;	Нису прецизно наведене
4	Рачунарство у „облаку“ (Wan и сарадници, 2018)	Интерфејс за више типова података; Удаљен приступ подацима; Приступ подацима 24/7;	Специфичан формат улазних података
5	Велики подаци (Freddi, 2018; Frank и сарадници, 2019; Bag и сарадници, 2021; Husár & Knapčíková, 2021; Schögggl и сарадници, 2023)	Позитивни ефекти код запослених; Интеграција са технологијом Вештачка интелигенција; Прикупљање података из различитих извора; Побољшана сарадња у ланцу снабдевања; Побољшање конкурентске предности предузећа; Предвиђање тражње и анализа захтева купаца;	Континуирано укључивање вишег руководства ради унапређења процеса доношења одлука

6	Роботи (Çiğdem и сарадници, 2023; Freddi, 2018; Gualtieri и сарадници, 2021; Leutert и сарадници, 2024; Wan и сарадници, 2018)	Примена у индустријске сврхе (Индустријски колаборативни роботи (енл. <i>Industrial Collaborative Robots - ICR</i>)); Безбедна физичка интеракција, између робота и са људима; Оптимално извођење циклуса монтаже; Унапређен квалитет, ефикасност (енергије, времена, трошкова), продуктивност рада; Смањен број грешака у производњи и количина отпада; Понављање корака и већа прецизност у поређењу са радом људи; Извођење послова у нехуманим условима; Смањен број повреда и ризика на раду; Опонашање људског понашања; Боље руковање компонентама на монтажним линијама; Мултимодални заједнички приступ (роботи и људи) контроли на монтажним линијама;	Потребна финансијска подршка за ефикасну примену ове технологије; Страх запослених да ће бити замењени; Отпор запослених ка прихватању ове технологије; Потреба за квалификованим радницима за имплементацију технологије
7	Комуникација између машина	Нису прецизно наведене;	Нису прецизно наведене
8	Проширена стварност (Ambrogio и сарадници, 2022; Angelopoulos & Mourtzis, 2022; Frank и сарадници, 2019; Freddi, 2018; Husár & Knapčíková, 2021)	Иновација процеса и производа; Интеграција са технологијом Виртуелна стварност; Могућност запослених да управљају на даљину аутоматизованом, дигиталном и роботском радном снагом; Подршка за даљинско одржавање; Повећана безбедност у раду; Бржи одабир материјала и производа; Бржа обука запослених; Пораст продуктивности; Смањена стопа грешака; Смањен број повреда на раду; Примена уређаја лакших за коришћење за потребе бирања материјала или производа путем вида; Повећана брзина рада; Унапређене перформансе, тачност и флексибилност запосленог;	Улагање у ову технологију може да буде скупо и непотребно за МСП; Дуже ношење уређаја проширене стварности може да изазове главобоље и слабији вид; „Паметне” наочаре имају ограничен капацитет батерије, трајност и век трајања

9	Виртуелна стварност (<i>Ambrogio</i> и сарадници, 2022; <i>Frank</i> и сарадници, 2019; <i>Yildiz</i> и сарадници, 2021)	Интеграција са технологијом Проширене стварности; Могућност запослених да управљају на даљину аутоматизованом, дигиталном и роботском радном снагом; Повећана продуктивност запослених; Омогућава креирање виртуелне фабрике;	Нису прецизно наведене
10	Пословна интелигенција	Нису прецизно наведене;	Нису прецизно наведене
11	Машинско учење (<i>Jan</i> и сарадници, 2023; <i>Jung</i> и сарадници, 2021; <i>Marti-Puig</i> и сарадници, 2024; <i>Perno</i> и сарадници, 2023)	Алгоритми засновани на овој технологији идентификују и помажу у обради података, контроли и аквизицији; Разумевање проблема квалитета производа; Предвиђање квалитета производа; Смањење трошкова праћења квалитета производа; Скраћење времена запослених на пословима контроле рада машине; Интеграцијом са технологијом Вештачка интелигенција омогућава увођење иновација, побољшање одржавања, контроле и надзора процеса производње; Интеграција са технологијом Виртуелне стварности омогућава аутоматско понављање процеса обуке; Оптимизује процесе производње;	Нису прецизно наведене
12	Вештачка интелигенција (<i>Bag</i> и сарадници, 2021; <i>dos Santos</i> и сарадници, 2021; <i>Frank</i> и сарадници, 2019; <i>Freddi</i> , 2018; <i>Jan</i> и сарадници, 2023; <i>Kinkel</i> и сарадници, 2022; <i>Krzywdzinski & Butollo</i> , 2022; <i>Leutert</i> и сарадници, 2024; <i>Marti-Puig</i> и сарадници, 2024; <i>Schöggel</i> и сарадници, 2023; <i>Wan</i> и сарадници, 2018)	Омогућава одрживу производњу, побољшану контролу квалитета, нула застоја, производе прилагођене захтевима купаца и смањење трошкова производње; Поврат инвестиција; Унапређена производња и управљање индивидуално дизајнираним производима; Унапређење перформанси фабрике и оперативних аспеката (ефикасност, флексибилност и поузданост производње); Интеграција са Дигиталним близанцем и технологијама Машинско учење и Велики подаци; Примена у предиктивном одржавању и управљању залихама;	Захтева велике инвестиције; Потребне вештине, знање и поседовање дигиталних вештина за успешну имплементацију; Забринутост у вези са моделом обуке, обрадом података и тестирањем, прикупљањем података и интерпретацијом модела; Ограничено финансирање и радикалне иновације у вези са пројектима клијената; Интегрисаност са технологијом Великих података захтева стално праћење од стране вишег руководства, ради бољег доношења одлука; Недостатак стручних хуманих вештина као препрека имплементацији технологије

13	Адитивна производња (<i>Ambrogio</i> и сарадници, 2022; <i>Patalas-Maliszewska & Topczak</i> , 2021; <i>Topczak & Śliwa</i> , 2021; <i>Wozniak</i> и сарадници, 2021)	Аутоматизација процеса; Повећање ефикасности производње; Минимизирање застоја у производњи; Обезбеђивање високог квалитета производа; Искључење потреба за специфичном или новом интеракцијом између људи и машина; Планирање, пројектовање и израда елемената или производа сложене геометрије, што није могуће урадити са конвенционалном производњом; Велика могућност персонализације елемената или производа; Омогућава предузећу значајну конкурентску предност, флексибилну производњу и испуњавање индивидуалних захтева и потреба купаца; Унапређен софтвер и нови, различити материјали за 3Д штампање; Смањење губитака (у времену и ресурсима); Смањење људског учешћа у процесима производње и монтаже; Мања улагања у набавку технологије;	Високи трошкови обуке запослених; Не могу се користити одређене групе материјала; Недостатак вештина и знања међу запосленима, утиче на потребу за новим стручњацима

Примена технологије **Интернет „интелигентних” уређаја** у управљању производњом омогућава многе предности производним предузећима, попут иновација производних процеса и производа које има позитивне ефекте на запошљавање (Freddi, 2018) и позитиван утицај на флексибилност производне линије у производном процесу (dos Santos и сарадници, 2021a). Уз помоћ сензора који се користе као уређаји за прикупљање података из производних процеса, производње и ланаца снабдевања (Schöggl и сарадници, 2023), Интернет „интелигентних” уређаја омогућава приступ подацима и информацијама ускладиштеним у повезаним базама података (Marti-Puig и сарадници, 2024). Сензори и други уређаји који се користе у оквиру технологије Интернет „интелигентних” уређаја су ценовно приступачни (Mourtzis и сарадници, 2018). Применом ових технологије у производњи, постиже се значајно смањење трошкова и времена, унапређује контрола квалитета производа, брже откривање и реаговање на грешке у производњи у реалном времену, као и оптимизовано коришћење ресурса, минимизирањем времена за подешавања производних линија (Belli и сарадници, 2019). Применом Интернет „интелигентних”

уређаја смањени су трошкови повезивања са новом машином, као и трошкови инсталације и развоја нових технологија (Vuković и сарадници, 2022). Ова технологија је адекватна за примену у МСП, јер представља поуздано и јефтино решење које може да се лако имплементира, има ниске трошкове имплементације и омогућава бољу комуникацију са оператерима (Mourtzis и сарадници, 2018; Vuković и сарадници, 2022).

Технологија **Сајбер-физички системи** омогућава неограничену навигацију између фаза колаборативне консолидације и индивидуалног моделирања, који највише примењују тимови који обављају инжењерске послове (Kannengiesser и сарадници, 2021). Примена ове технологије може унапредити задовољство запослених, обуку оператера, убрзати размену информација, повећати ниво знања, компетенција и вештина, утицати на смањење људских грешака насталих недостатком знања, побољшати квалитет комуникације (између машина и запослених), побољшати интерни процес контроле квалитета, повећати флексибилност, смањити време и трошкове за измене у производним капацитетима, побољшати продуктивност смањењем времена за реализацију процеса, достићи временску ефикасност аутоматским активностима тестирања и подешавањима производних линија, као и смањити трошкове тестирања, побољшати флексибилности тржишта стварањем честих промена асортимана производа и производа прилагођених захтевима купаца, како би се боље одговорило на различите и јединствене захтеве купаца (Pinzone и сарадници, 2020).

Што се тиче технологије **Рачунарства у „облаку”**, једна од предности су платформе у „облаку” са интерфејсом за више типова података, док су недостаци специфичан формат улазних података. Изазов је унапредити перформансе у реалном времену и робусност система, с обзиром на то да подаци могу да се складиште у различитим форматима (Wan и сарадници, 2018). Трошкови за коришћење *ERP* софтвера и других апликација у „облаку” су много мањи, него њихова набавка и инсталација у предузећу.

Примена технологије **Великих података** у производним предузећима је веома важна за конкурентску предност (Frank и сарадници, 2019), позитивно утиче на запослене, пружа бројне могућности за иновације производа и процеса (Freddi,

2018) и има велику примену у анализи захтева купаца и предвиђање тражње (Schögl и сарадници, 2023). Ова технологија је најчешће интегрисана са технологијом Вештачке интелигенције и омогућава многа унапређења у производњи (Bag и сарадници, 2021), као што је: прикупљање значајне количине података из различитих извора, омогућавање машинама да самостално доносе одлуке, побољшање флексибилности производних процеса, смањење ризика од прекида мреже или ланца снабдевања, унапређење сарадње кроз ланац снабдевања, омогућавање рециклаже уз минимизирање отпада, продужавање животног циклуса ресурса, као и бржег и ефикасног прилагођавања производних процеса новонасталим променама. Један од недостатака је што, у интеграцији са технологијом Вештачке интелигенције, ова технологија подразумева континуирано укључивање вишег руководства у примени аналитичких метода и метода визуелизације података за унапређено доношења одлука (Husár & Knapčíková, 2021).

Главна унапређења настала применом **Робота** у управљању производњом су: побољшање робусности и прецизности производног система, високо прецизна класификација материјала који се обрађује, прилагодљивост и скраћена дужина путање кретања материјала, нема укрштања путања са препрекама, побољшано коришћење и ефикасност ресурса, побољшане перформансе преноса података, брже преузимање података, смањена сложеност података из производње, реализација дистрибуције ресурса путем аутономног одлучивања у „облаку”, балансирање оптерећења производних линија, оптимизација ресурса, повећана прецизност предвиђања кварова, предвиђање преосталог века трајања опреме, побољшано коришћење ресурса, дељење знања и групна интелигенција (Wan и сарадници, 2018). Роботи унапређују продуктивност и квалитет производа, ефикасност утrophка енергије, скраћују време и смањују трошкове и отпад, као и број грешака и цену рада у производњи, опонашају људско понашање и понављају кораке, могу да раде у нехуманим условима и прецизнији су од људи, смањују ризик и број повреда радника у производњи, као и трошкове који настају из тог разлога, омогућавајући предузећима да повећају обим производње, ефикасност и профит (Çiğdem и сарадници, 2023). Роботи боље рукују компонентама у монтажним линијама, унапређују производни процес и замењују људе мултимодалним приступом заједничке контроле (Leutert и сарадници, 2024).

Примена индустријских колаборативних робота (енгл. *Industrial Collaborative Robots - ICR*) омогућила је „безбедну физичку интеракцију човека и машине, како би се повећала флексибилност, услови рада оператера и перформансе процеса, допринела је бољој сарадњи људи и робота, смањила време у циклусу склапања производа, развила систематску методологију за пројектовање система за монтажу, усредсређених на човека и сарадњу човека са роботима, почевши од радне станице за ручно склапање и оптималног распореда циклуса монтаже, узимајући у обзир главне карактеристике производа и процеса, као и расподелу задатака” (Gualtieri и сарадници, 2021). Недостаци примене робота у производњи су негативни утицај на запошљавање, јер могу да замене човека (Freddi, 2018). Запослени страхују да ће бити замењени и да ће њихови послови и позиције постати потпуно аутоматски, што доводи до смањења прихватања ове технологије, негативних ставова и отпора на промене (Çiğdem и сарадници, 2023). Такође, за имплементацију, ова технологија захтева високо квалификовано особље, што захтева већа финансијска улагања (Leutert и сарадници, 2024). Још један од недостатака је потребна финансијска подршка за ефикасну имплементацију ове технологије (Gualtieri и сарадници, 2021).

Примена технологије **Проширене стварности** у управљању производњом има многе предности, као што су: иновација производа и процеса, што имплицира позитивне ефекте на запослене (Freddi, 2018), попут повећања продуктивности радника (Frank и сарадници, 2019), помоћ у одржавању машина на даљину и унапређено управљање неподвижним кваровима (Angelopoulos & Mourtzis, 2022), побољшање ергономије на радном месту, повећање безбедности у раду, омогућавање бржег реаговања на промене, пружање велике количине јасних информација, једноставно коришћење, омогућавање брзе обуке за коришћење, примењивање у бучним окружењима, елиминисање ризика или смањење стопе грешака запослених, вршећи промене у радном окружењу, повећавајући продуктивност, брзину, учинак, тачност и флексибилност запосленог, као и побољшавање свеукупне продуктивности (Husár & Knapčíková, 2021). Интегрисане са технологијом Виртуелне стварности, ове технологије омогућавају даљинско управљање аутоматизованом и дигиталном радном снагом, односно роботима, безбедно и ефикасно (Ambrogio и сарадници, 2022), као и да примене уређаје лаке

за коришћење („паметне” наочаре, таблете, телефоне, слушалице итд.). Један од недостатака ове технологије је што улагање у ову технологију може бити непотребно и скупо за мала предузећа са малим бројем производа (Husár & Knapčíková, 2021). Иако примена технологије Проширене стварности путем уређаја „паметних” наочара омогућава запосленима да раде без коришћења руку, ефикасније и са мањим физичким оптерећењем, без икакве администрације, смањујући број повреда на раду и смањујући грешке, дужи рад са овим уређајима може изазвати главобоље и слабљење вида, а важно је и напоменути да „паметне” наочаре имају ограничен капацитет батерије, издржљивост и дужину трајања (Husár & Knapčíková, 2021).

Као што је већ речено, технологија **Виртуелне стварности** интегрисана са технологијом Проширене стварности може да омогући даљинско управљање аутоматизованом, дигиталном и роботском радном снагом, безбедно и ефикасно (Ambrogio и сарадници, 2022), побољшавајући продуктивност запослених (Frank и сарадници, 2019), као и скраћивање дужине циклуса производње (Yildiz и сарадници, 2021). Ова технологија се може користити за креирање виртуелне фабрике за „интегрисано представљање модела производа, процеса и система за пројектовање, процену, контролу, оптимизацију и интеракцију са моделима, подршку инжењерингу производа, процесу и производњи, смањењу физичке изградње и уштеди времена применом виртуелног прототипа, постизање динамичких, отворених, когнитивних и холистичких системских концепта теорије компетенција” (Yildiz и сарадници, 2021). Према истим ауторима, ова технологија представља „одрживо решење за подршку производним предузећима током њиховог прилагођавања променљивим условима у пројектовању, анализом, контролом, симулацијом и оптимизацијом производа, моделима процеса и система, као и практичнији инжењерски алат за интеграцију 3Д модела фабрике и производа”. Омогућава симулацију процеса за анализу, контролу и оптимизацију, као и инжењеринг и скраћивање животног циклуса производње.

Главне предности примене технологије **Машинског учења** у управљању производњом су побољшано разумевање стандарда квалитета производа, предвиђање квалитета, упоређивање са пројектованим мерама, смањење трошкова праћења квалитета, као и времена запослених за контролу рада машина и

повећавање обима производње (Jung и сарадници, 2021; Perno и сарадници, 2023). Алгоритми технологије Машинског учења користе се за идентификацију и помоћ у обради, контрола исправности и тачности и аквизицији података (Jan и сарадници, 2023). Интегрисани са технологијом Проширене стварности, модели базирани на технологији Машинског учења, аутоматски покрећу обуку радника у ситуацијама када се производни процес модификује, и на тај начин елиминишу потребу за интервенцијом човека и оптимизују процес производње (Perno и сарадници, 2023). Интегрисан са технологијом Вештачке интелигенције и коришћењем приступа заснованог на подацима, технологија Машинско учење побољшава одржавање, надзор и контролу индустријских процеса (Marti-Puig и сарадници, 2024), док се алгоритми Вештачке интелигенције и Машинско учење користе за увођење иновација у производним предузећима (Jan и сарадници, 2023).

Примена технологије **Вештачка интелигенција** у производним предузећима омогућава постизање одрживе производње, побољшану контролу квалитета производа, нула застоја, производе прилагођене захтевима корисника, смањење трошкова производње/система и повраћај улагања (Jan и сарадници, 2023), укупно унапређење оперативних аспеката фабрике (Frank и сарадници, 2019) и перформансе „паметне” фабрике (интелигенција, ефикасност, флексибилност и поузданост производног система) (Wan и сарадници, 2018), као и детекција загађења и/или недостатака у производњи (Leutert и сарадници, 2024). Технологија Вештачка интелигенција примењује се за предиктивно одржавање производних процеса и управљање залихама (Schögl и сарадници, 2023), унапређујући „управљање производом и производњом индивидуално дизајнираних и сложених решења и производа, управљање и контролу сложених процеса планирања наруџбине, производње и дистрибуције и постизање конкурентске предности” (Kinkel и сарадници, 2022). Интеграцијом алгоритама технологија Вештачка интелигенција и „паметних” уређаја, стварају се колаборативни механизми, где је доношење одлука аутономно, могућности закључивања дају разумније динамичко понашање и ефикасније и тачније методе обраде података (Wan и сарадници, 2018). Као што је наведено, технологија Вештачка интелигенција може се интегрисати са технологијом Машинско учење и применом приступа заснованог на подацима, унапреди одржавање, надзор и контролу индустријских процеса (Marti-Puig и

сарадници, 2024). Технологија Вештачка интелигенција најчешће је интегрисана у решењима концепта Дигиталног близанца, где препознаје обрасце потражње и предвиђа их, омогућавајући аутоматизоване команде, прецизније улазне податке и кориснички интерфејс (dos Santos и сарадници, 2021). Технологије Вештачка интелигенција у Дигиталном близанцу омогућавају реплику процеса и креира податке који се могу користити за даља тестирања иновативних решења (Јап и сарадници, 2023). Интегрисана са технологијом Великих података, Вештачка интелигенција прикупља већу количину података из различитих извора, омогућавајући машинама да доносе аутономне одлуке, повећавајући флексибилност у производним процесима, пружајући више опција за рециклажу, дужи животни циклус ресурса, смањење отпада, боље прилагођавање променама и ефикасније процесе (Bag и сарадници, 2021). Ова технологија захтева стручњаке или запослене са потребним вештинама за примену и имплементацију, који ће бити проактивно квалификовани, односно морају да поседују потребне дигиталне и техничке вештине у одређеним дигиталним и технолошким доменама и контекстима (Kinkel и сарадници, 2022). Стога, као недостаци имплементације технологије Вештачке интелигенције у производним предузећима могу се навести: недостатак података, велика улагања, лажни позитивни резултати, потребна знања, вештине и техничка експертиза за успешно прихватање технологије, страх од недовољно значајне користи за предузеће и безбедност података (Јап и сарадници, 2023). Ова технологија захтева значајна финансијска улагања и „комбиновање радикалних иновација у пројектима у врло раној фази” (Krzywdzinski & Butollo, 2022). Изазов примене технологије Вештачке интелигенције је „квалификација коришћених метода” (Leutert, 2024). Главни проблеми за имплементацију ове технологије су обука за креирање модела, обрада података, тестирање, прикупљање података и проблем интерпретације модела (Јап и сарадници, 2023), док су препреке имплементацији недостатак људских вештина, као што су осећај, расуђивање, флексибилност и способност да се идентификује сврха објекта и производног задатка (Freddi, 2018).

Имплементација технологије **Адитивне производње** у управљању производњом омогућила је многе предности, док се као најважније истичу (Woźniak и сарадници, 2021): аутоматизација процеса, повећање ефикасности, обезбеђивање високог

квалитета производа. Ова технологија омогућава смањење или искључује потребу за специфичном или новом интеракцијом између људи и машина (Ambrogio и сарадници, 2022), омогућава планирање, пројектовање и производњу елемената или производа сложене геометрије, у било ком облику, што није могуће урадити са конвенционалним методама производње, у зависности од потреба тржишта или очекивања купаца (Patalas-Maliszewska & Topczak, 2021), са великом могућношћу персонализације елемента или производа према потребама купаца (Topczak & Śliwa, 2021). Омогућава производном предузећу значајну конкурентску предност, флексибилну производњу и испуњавање индивидуалних захтева и потреба купаца (Topczak & Śliwa, 2021). Новоразвијени и специјализовани 3Д штампачи користе побољшани софтвер и нове, различите материјале за 3Д штампање (Wozniak и сарадници, 2021). Такође, технологија Адитивне производње омогућава смањење утрошка времена и ресурса, као и учешће човека у производном процесу и процесима монтаже, који се смањују или елиминишу (Patalas-Maliszewska & Topczak, 2021). Представља технологију која не захтева велика улагања и не захтева дуго време имплементације (Wozniak и сарадници, 2021). Поред многих предности, треба навести и неке недостатке. Иако користи много нових и различитих материјала, не може се сваки материјал користити у овој врсти производње (Patalas-Maliszewska & Topczak, 2021). И даље постоји недостатак знања и вештина међу запосленима у предузећу, што имплицира потребу за новим стручњацима или обуку постојећих радника (Wozniak и сарадници, 2021), док су трошкови набавке штампача за адитивну производњу и обуке особља и даље високи. Ова технологија и даље има најнижу корелацију између конкурентске предности и ефективности, смањења броја запослених и смањења отпада и потрошње енергије (Patalas-Maliszewska & Topczak, 2021).

Постоје многа побољшања у управљању производњом која се постижу применом технолошког концепта **Дигитални близанац**, којим се, на основу симулација, утиче на смањење потребног броја оператера на производним линијама, скраћење укупног времена испоруке и побољшање ефикасности производног процеса (dos Santos и сарадници, 2021), унапређење контроле квалитета (Arnarson и сарадници, 2023), стварање виртуелног окружења за интегрисану презентацију и уношење промена у моделе процеса, производа и система у погледу дизајна, анализе,

евалуације, контроле, симулације, оптимизације и интеракције са моделима, као и смањење времена за увођење новог производа на тржиште (Yildiz и сарадници, 2021).

За технологије Сајбер безбедност, Комуникација између машина и Пословна интелигенција нису јасно наведене предности и недостаци у анализираним радовима.

5.4. Одабир најзначајнијих и најчешће примењених технологија Индустије 4.0 у управљању производњом

На основу критичко квалитативне дискусије подржане систематским прегледом литературе о примени технологија Индустије 4.0 у управљању производњом, могуће је дати одговоре на истраживачка питања постављена на почетку овог дела дисертације, а који су детаљно приказани и продискутовани.

ИП1: На који начин технологије Индустије 4.0 утичу на управљање производњом у производним предузећима?

Одговор: Технологије Индустије 4.0 штеде енергију и време и омогућавају запосленима да посвете више времена иновацијама и креативности (Gupta & Jauhar, 2023), али и утичу на животну околину тако да је чине одрживом и здравом, испуњавајући захтеве купаца (Gupta & Jauhar, 2023) и омогућавајући зелена и одржива решења (Jałowiec & Wojtaszek, 2022). Аутори Krzywdzinski и Butollo (2022) наводе да концепт Индустије 4.0, као иновација, доприноси повезивању традиционалне производње са новим облицима знања у технологијама као што су Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и друге. Аутори Schöggel и сарадници (2023) наводе да примена дигиталних технологија позитивно утиче на међуорганизацијску сарадњу, при чему је важније разумевање техничких аспеката производних процеса у односу на информатичка знања и софтверске вештине потребне за имплементацију дигиталних технологија. Додатно, позитивно утичу и на организационе факторе, као што су величина предузећа, дигиталне вештине и интензитет истраживања и развоја (Kinkel и сарадници, 2022). На основу овога може се закључити да је утицај ових технологија на управљање производњом у производним предузећима позитиван.

Специфична знања, успостављање корпоративне културе која је отворена и флексибилна за увођење иновација, финансијска средства и укључивање запослених у процес имплементације су неопходни предуслови за имплементацију Индустрије 4.0 (Veile и сарадници, 2020). Међутим, треба истаћи и недостатке примене ових технологија. Оне утичу на укидање великог броја послова (Freddi, 2018), док ефикасан пренос података и комуникација унутар дигиталне фабрике захтева адекватан пропусни капацитет мреже за комуникацију (Wan и сарадници, 2018). Мора се нагласити и да поверљиви и приватни подаци нису потпуно безбедни, чиме се смањује безбедност информација, што може утицати на губитке у погледу добити или имовине (Dalmarco и сарадници, 2019; Wan и сарадници, 2018).

Такође је важно напоменути да су се многи аутори бавили применом технологија Индустрије 4.0 и у великим, и у МСП. Према ауторима *Frank* и сарадници (2019), велика предузећа су више спремна за имплементацију технологија Индустрије 4.0, док предузећа са вишим нивоима зрелости могу да стекну већу конкурентску предност. Исти аутори истичу да пословање предузећа по моделу електронског пословања захтева више прилагођена и специјализована решења, која омогућавају јачу интеракцију између предузећа и купаца, док код традиционалног начина пословања треба да посвете много више пажње код прихватања ових технологија. Резултати представљени у (Schöggl и сарадници, 2023) наглашавају да МСП имају најнижи ниво дигитализације, да најчешће нису спремна или немају довољна финансијских средстава за имплементацију ових технологија (Gavrus и сарадници, 2024), што утиче на спорије прихватање ових нових технологија (Vuković и сарадници, 2022). Неки од разлога за то су: недостатак мотивације запослених (Vuković и сарадници, 2022), као и недостатак одговарајућег знања (Krzywdzinski & Butollo, 2022).

На основу анализираних радова и претходно реченог, може се закључити да технологије Индустрије 4.0 позитивно утичу на управљање производњом у производним предузећима, са бројним предностима у смањењу трошкова и времена, унапређењу процеса производње применом симулације и оптимизације, рада на даљину, смањењу мануелног рада и смањењу броја запослених, као и рада запослених у опасним и необезбеђеним радним условима. Такође, постоје и

недостаци њихове имплементације који могу да се превазиђу правилном имплементацијом, контролом, као и увођењем других технологија, које могу да превазиђу те недостатке.

ИП2: Да ли примена концепта Индустрије 4.0 унапређује управљање производњом?

Одговор: Примена концепта Индустрије 4.0 и имплементације технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом доноси бројне предности и унапређења. Неке од њих су (Dalmarco и сарадници, 2019; dos Santos и сарадници, 2021a; Gupta & Jauhar, 2023; Jałowiec & Wojtaszek, 2022): повећање продуктивности, повећани ниво аутоматизације оперативне производње, логистике и ланаца снабдевања, већа флексибилност, ефикасност, безбедност, бољи процес одлучивања, квалитет производа и услуга, као и смањење трошкова, повећање профита, свеукупно унапређење перформанси производног процеса и поједностављење система аутоматизоване производње. Многи аутори у својим радовима су се бавили предностима и недостацима имплементације концепта Индустрије 4.0, дигитализације и аутоматизације у управљању производњом, као и факторима који утичу на имплементацију технологија Индустрије 4.0. Главни доприноси и предности имплементације технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима, систематизовано по врстама предности, су:

- Планови реализације производње се аутоматски креирају (Arnarson и сарадници, 2023);
- Омогућена је аутоматска контрола извођења операција на радним местима и даљинско праћење у сваком тренутку (Ambrogio и сарадници, 2022; Dalmarco и сарадници, 2019);
- Успостављена је бржа и једноставнија интеракција између запослених помоћу дигиталних уређаја (Ambrogio и сарадници, 2022);
- Омогућено је предвиђање будућих догађаја, обрада великих количина података и креирање препорука заснованих на чињеницама за побољшање и убрзање доношења одлука од стране запослених (Ambrogio и сарадници, 2022);
- Извршена је интеграција интерних ресурса са комплементарним активностима партнера предузећа, која је иницирана променама у пословном моделу предузећа и примени нових пословних модела (Dalmarco и сарадници, 2019; Jałowiec & Wojtaszek, 2022);

- Унапређена је комуникација између запослених (Gavrus и сарадници, 2024);
- Омогућена је примена технолошких платформи за повезивање предузећа са пословним партнерима (dos Santos и сарадници, 2021a);
- Утиче се на дугорочна побољшања конкурентности предузећа (Dalmarco и сарадници, 2019; dos Santos и сарадници, 2021a);
- Постиже се већа флексибилност производних процеса и нове могућности управљања производњом и услугама, према захтевима купаца, као и одговор на нову потражњу у реалном времену (Dalmarco и сарадници, 2019; dos Santos и сарадници, 2021a);
- Удаљеност између предузећа и пословних партнера, добављача и произвођача, производње и инжењера не представља проблем, јер се већина њихових активности обавља електронски у реалном времену (Dalmarco и сарадници, 2019);
- Сарадња са пословним партнерима и интердисциплинарна комуникација се постиже ефикасним управљањем интерфејсом и безбедношћу података (Veile и сарадници, 2020);
- Омогућен је конкурентни инжењеринг (Yildiz и сарадници, 2021).

ИПЗ: Које су највише и најчешће примењене, односно кључне технологије Индустрије 4.0 у производним предузећима?

Одговор: Према анализама и резултатима представљеним у Табели 14., најчешће примењене, односно кључне технологије Индустрије 4.0 у производним предузећима су: Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци. Могућност складиштења и дељења информација у управљању производњом омогућени су применом технологија Интернет „интелигентних” уређаја и Вештачке интелигенције (OECD, 2017). Технологија Интернет „интелигентних” уређаја повезује физичке уређаје и различите индустријске објекте у циљу размене података са другим уређајима, са широком применом у различитим индустријама и сматра се једном од најчешће примењених технологија Индустрије 4.0 (Khang и сарадници, 2024). Последњих година, технологија Вештачке интелигенције препозната је као стратешки важна технологија Индустрије 4.0 која утиче на повећање продуктивности (Zhang & Peng, 2025), а која је усвојена од стране многих индустрија, углавном у производњи, са циљем унапређења пословних перформанси (Dinmohammadi, 2023). Интеграција

технологија Вештачке интелигенције и Интернет „интелигентних” уређаја омогућава развој „паметних” апликација које аутоматизују процесе, прате активности, управљају задацима, предвиђају исходе и унапређују доношење одлука у производњи (Khang и сарадници, 2024). С обзиром да Индустрија 4.0 подразумева примену велике количине опреме и машина које генеришу велике и сложене податке, технологија Великих података обухвата брзо растуће скупове података којима је тешко управљати конвенционалним системима и алатима, узимајући у обзир количину, брзину и разноликост података (Obitko & Jirkovský, 2015). Растућа потражња за безбедном и ефикасном „паметном” производњом, заједно са новим технолошким достигнућима, покреће усвајање технологија Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачке интелигенције и Великих података у предузећима, што доводи до повећаног увођења ових технологија у „паметна” производна предузећа (Jagatheesaperumal и сарадници, 2021). Одабир ових технологија потврђују и аутори *Abdallah* и сарадници (2021) који наводе ове технологије као три најважније технологије за дигитализацију и аутоматизацију, односно технологије Индустрије 4.0. Ове технологије повећавају ниво дигитализације и аутоматизације производних предузећа и примењују се у управљању финансијама и рачуноводству (60,5 [%]), планирању и контроли (56,5 [%]) и производњи (50,8 [%]) (Čater и сарадници, 2021). Поред наведене три технологије, Сајбер-физички системи и Роботи су технологије које се веома често користе у производним предузећима. Међутим, мора се истаћи и учестала примена технологије Проширене стварности и Адитивне производње, које имају важну улогу у производњи.

С обзиром да су, према резултатима анализе литературе која је приказана у овом поглављу, најчешће примењене технологије Индустрије 4.0 у управљању производњом: Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци, оне се могу сматрати одабраним технологијама за које ће се вршити даља истраживања у докторској дисертацији.

На основу одговора на истраживачка питања, може се закључити да концепт Индустрије 4.0 има позитиван утицај на управљање производњом. Међутим, на основу извршене анализе литературе, важно је нагласити главне препреке за примену технологија Индустрије 4.0:

- Ограничења у вези са актуелним законодавством (у зависности од државе у којој предузеће послује) (Ambrogio и сарадници, 2022; Dalmarco и сарадници, 2019);
- Неопходно доменско знање и степен техничке експертизе (Jan и сарадници, 2023);
- Предузећа се разликују у погледу потреба, могућности и технологија и захтевају дубљу анализу потреба (Ambrogio и сарадници, 2022; Wozniak и сарадници, 2021);
- Индустрију 4.0 чине нове технологије које нису сва предузећа спремна да имплементирају (Wozniak и сарадници, 2021);
- Препреке у вези са интеграцијом човека и машине, недостатак запослених, као и њихових знања и вештина (Dalmarco и сарадници, 2019; dos Santos и сарадници, 2021a);
- Примена технологија захтева стручно знање и компетенције запослених (Veile и сарадници, 2020);
- Није јасно дефинисано применом које од ових технологија би предузеће остварило већу конкурентску предност, ефикасност и продуктивност (dos Santos и сарадници, 2021a);
- Неопходно је унапред испланирати процес имплементације технологија Индустрије 4.0 са развијеним техничким решењима (Veile и сарадници, 2020);
- Не постоје јединствени стандарди интерфејса, комуникационих протокола и типова података (Veile и сарадници, 2020).

На основу детаљне анализе литературе представљене у овом поглављу, као и представљањем кључних предности примене технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом, може се закључити да су **потврђене** хипотезе истраживања *X(1.2): Применом технологија Индустрије 4.0 могуће је повећати продуктивност, ефикасност и ефективност производње, смањити трошкове, обезбедити брже прикупљање података и ток информација, омогућити правовремено праћење и контролу производње и уочавање проблема и грешака у производњи*, као и хипотеза *X(1.3): На основу прегледа научне и стручне литературе, могуће је издвојити најчешће примењене технологије Индустрије 4.0 у управљању производњом.*

6. ТЕОРИЈЕ И МОДЕЛИ ЗА АНАЛИЗУ ДЕТЕРМИНАНТИ ПРИХВАТАЊА И ПРИМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈА У ПРЕДУЗЕЋИМА

Стални изазов предузећа су истраживања за моделом на који ће технологија бити прихваћена од стране корисника (Schwarz & Chin, 2007). Технологија представља неопходни алат за унапређење перформанси, ефективности и продуктивности корисника (Ursavaş, 2022). На тај начин, развијене су се многобројне теорије и модели које се баве анализом прихватања технолошких иновација од стране корисника, које могу открити различите перспективе заинтересованих страна, технологија, теорија и метода истраживања (Williams и сарадници, 2009). Најчешће примењиване теорије и модели који су усмерени ка факторима који утичу на прихватање и примену технологија су (Alshammari & Rosli, 2020; Chang, 2012): Теорија дифузије иновација (енгл. *Innovation Diffusion Theory - IDT*), Теорија рационалног избора (енгл. *Theory of Reasoned Action - TRA*), Социјално когнитивна теорија (енгл. *Social Cognitive Theory - SCT*), Модел за прихватање технологије (енгл. *Technology Acceptance Model - TAM*), Проширени модел за прихватање технологије (енгл. *Extended Technology Acceptance Model – TAM 2*), Модел употребе персоналног рачунара (енгл. *Model of Personal Computer Utilization - MPCU*), Мотивациони модел (енгл. *Motivational Model - MM*), Теорија планираног понашања (енгл. *Theory of Planned Behavior - TPB*), Комбиновани модел TAM и TPB (енгл. *Combined TAM-TPB – C-TAM-TPB*), Јединствена теорија за прихватање и примену технологије (енгл. *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology - UTAUT*) и Проширена јединствена теорија за прихватање и примену технологије (енгл. *Extended Unified Theory of Acceptance and Use of Technology - UTAUT 2*). У наставку рада (потпоглавља 6.1-6.9) приказан је кратак опис наведених теорија и модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија.

Како би се извршила адекватна анализа детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији, у оквиру истраживања представљеног у докторској дисертацији, важно је одабрати адекватну теорију или модел који ће се користити у ту сврху. У наставку рада су

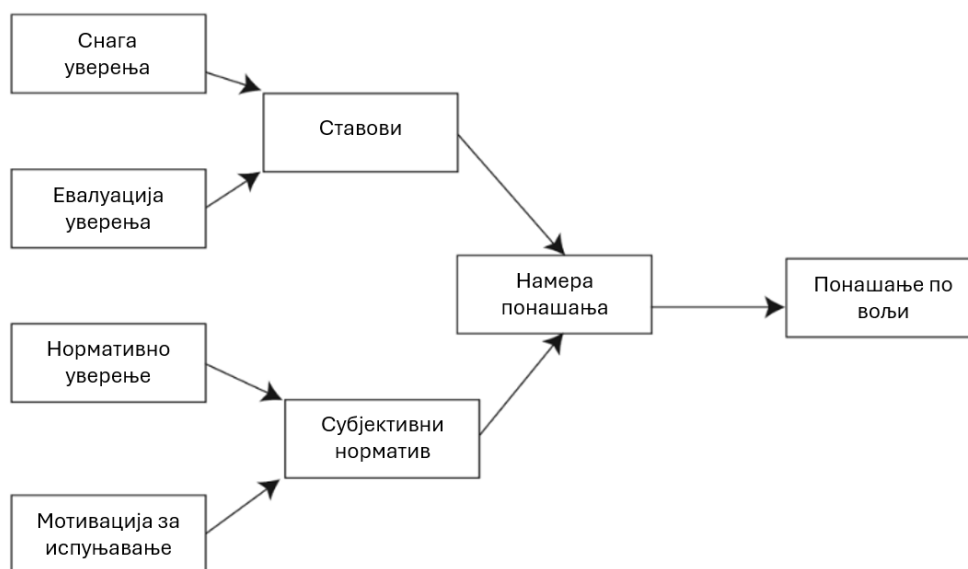
представљене у пракси најчешће примењене теорије и модели за анализу детерминанти прихватања и примене технологија. На основу њихових карактеристика, значајности и детерминанти, извршен је одабир теорије или модела који највише одговара потребама истраживања приказаног у докторској дисертацији. Критеријуми за одабир теорије или модела који су коришћени у сврху истраживања за потребе докторске дисертације приказани су у потпоглављу 6.10. Одабрани модел примењен је за анализу детерминанти прихватања и примене одабраних технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима и дефинисање кључних детерминанти за прихватање и имплементацију тих технологија. У потпоглављу 6.11 приказани су практични примери примене одабраног модела, са циљем јаснијег сагледавања његовог значаја за истраживање.

6.1. Теорија дифузије иновација

Теорија дифузије иновација (енгл. *Innovation Diffusion Theory - IDT*) предложена је 1962. године од стране аутора *Everett Rogers* и представља теоријски оквир за објашњење и предвиђање процеса и фактора који утичу на дисеминацију и прихватање иновација у друштву, попут нових технологија, идеја или производа (Rogers, 1962). Према истом аутору, дифузија иновација подразумева четири основна елемента: иновација („све што се сматра новитетом”, попут технологије, идеје, производа), канал за комуникацију (примена масовних медијских канала или канала за комуникацију између појединаца, чиме се иновација преноси од једног до другог појединца или на више људи), време (време потребно за мерење утицаја дифузије иновација, где временски фактори имају утицај на доношење и прихватање одлуке о иновацији и, посматрајући са стране појединца, оно пролази кроз пет фаза: спознаја, убеђивање, доношење одлуке, примена и потврда) и друштвени систем (односно „групе или организације које прихватају иновацију”, где на брзину и начин ширења иновације утичу структура, правила функционисања и култура друштвеног система). *IDT* представља важан систематични и теоријски алат за дифузију, објашњење и разумевање иновација, односно нових идеја, производа и технологија у друштву, са широком практичном применом (Guo & Huang, 2024). Исти аутори наводе да „са континуираним развојем друштва и напредовањем технологије, дифузија иновација наставиће да има важну улогу у унапређењу напретка и развоја друштва”.

6.2. Теорија рационалног избора

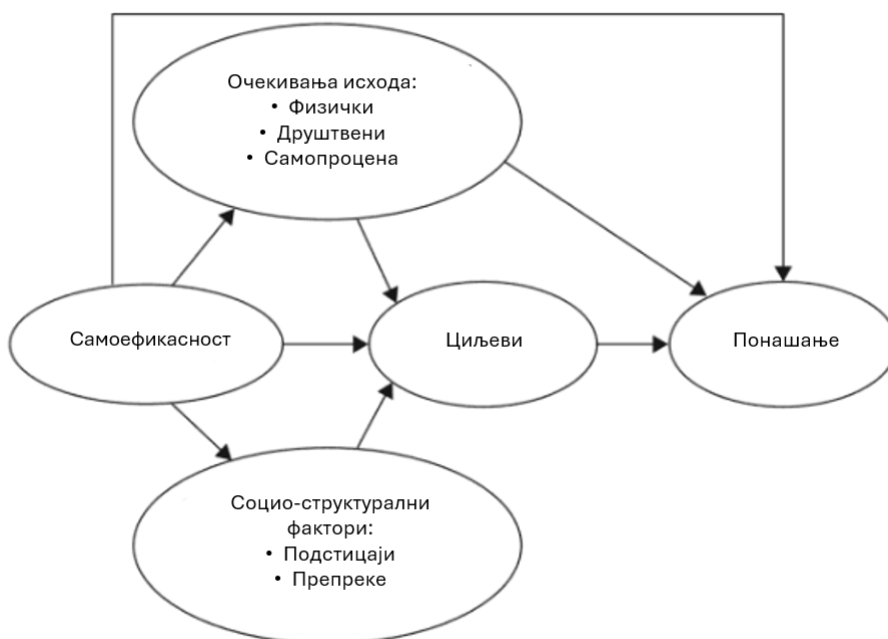
Теорија рационалног избора (енгл. *Theory of Reasoned Action* - TRA) је теорија развијена за мерење прихватања и примене технологија 1975. године од стране научника *Fishbein* и *Ajzen* (1975) и намењена је за предвиђање и разумевање понашања и ставова корисника. Сврха теорије је да теоријски опише везе између веровања, ставова, намера и понашања корисника и да обезбеди концептуални и емпиријски оквир за њихово мерење (Rutter & Bunce, 1989), под претпоставком да је намера кључни фактор који утиче на њихово понашање (Ul-Haque и сарадници, 2014). Према овој теорији, главна детерминанта понашања је намера, док је утицај става на понашање посредован путем намере. Међутим, ограничење теорије је у примени код људи који имају мало или осећају да имају мало утицаја над својим ставовима и понашањем (Fishbein & Ajzen, 1975). Надограђивањем ове теорије настале су друге теорије и модели, а она представља полазну теорију за развој других теорија и модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија, попут TAM и UTAUT, као и њихове проширене верзије, TAM 2 и UTAUT 2 (Alshammari & Rosli, 2020). На Слици 18. представљен је дијаграм компоненти TRA.



Слика 18: Структура TRA (Hale и сарадници, 2002)

6.3. Социјално-когнитивна теорија

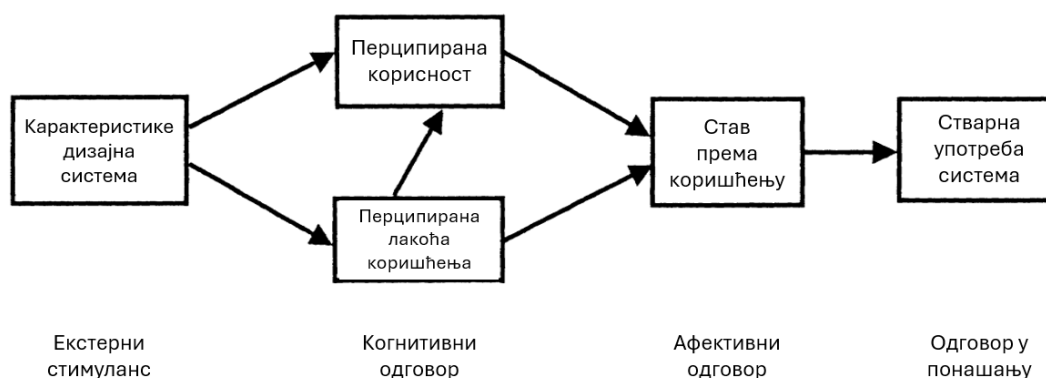
Социјално-когнитивна теорија (енгл. *Social Cognitive Theory* - *SCT*) људског функционисања настала је '80-их година XX века, предложена од стране психолога *Albert Bandura* (Bandura, 1986) и представља основну теорију у здравственој, образовној, социјалној психологији и психологији личности (Luszczynska & Schwarzer, 2015). Према овој теорији, фактори друштва, околине, као и фактори понашања и лични фактори имају утицаја на људску перцепцију и промене у понашању. Структура *SCT* приказана је на Слици 19. Примена *SCT* указује да утицај на понашање људи имају (Bandura, 1986): самоефикасност (самоувереност у способност за испуњење постављеног задатка), очекивани исходи (шта појединац очекује да ће се десити као резултат његовог понашања) и циљеви (из којих проистиче понашање које ће довести до остварења циља). На циљеве, поред свега наведеног, утицај имају и социо-културолошки фактори (спољашњи, друштвени фактори који подстичу или онемогућавају акцију). *SCT* указује на то да на понашање појединаца утичу лични, али и друштвени фактори из окружења, да је понашање човека мотивисано и регулисано сталним вежбањем сопствених утицаја, као и да друштвени фактори утичу на саморегулаторни рад система човека (Bandura, 1991; Bandura, 2001).



Слика 19: Структура *SCT* (Bandura, 1986)

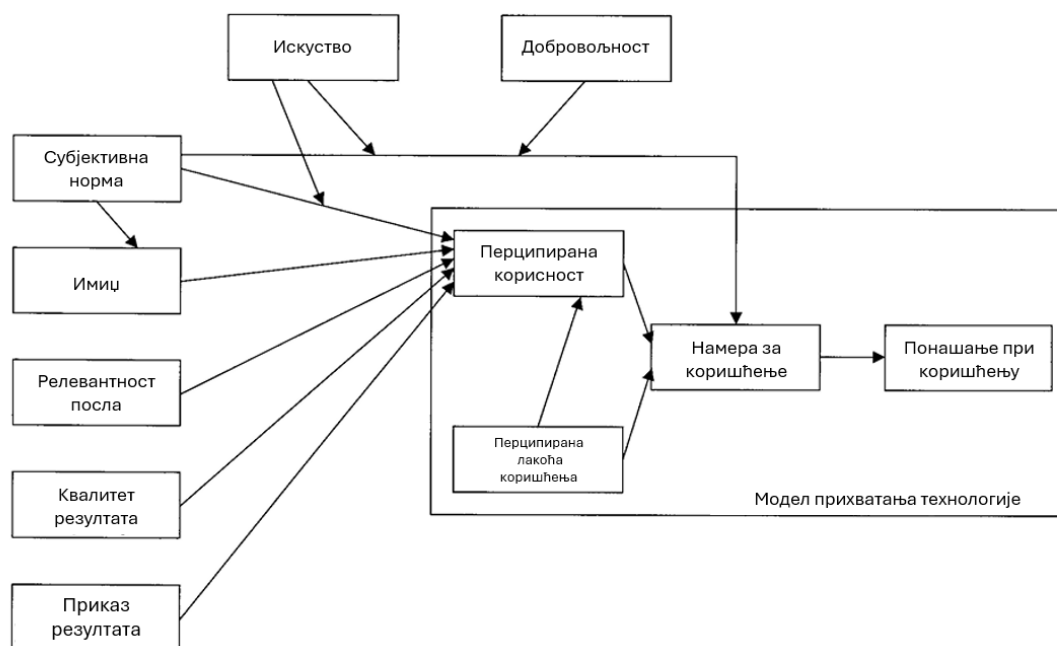
6.4. Модел за прихватање технологије

Модел за прихватање технологије (енгл. *Technology Acceptance Model - TAM*) је 1986. године предложио научник *Fred Davis*, како би одговорио на два фундаментална питања: „Зашто корисници прихватају или не прихватају технологију?” и „Какав утицај на прихватање од стране корисника има дизајн, као карактеристика система?” (Davis, 1986). Примена технологије директно зависи од става корисника о примени те технологије, који зависи од уочене корисности и перципиране лакоће коришћења од стране корисника. Променљива перципирана корисност мери склоност корисника да користе или не користе технологију, у оној мери у којој он верује да ће му помоћи да боље обавља свој посао, док перципирана лакоћа коришћења утиче на мишљење корисника да је технологија корисна, као и комплексна за коришћење и да предности коришћења технологије превазилазе користи које пружа њена примена (Davis, 1989). Структура *TAM* представљена је на Слици 20.



Слика 20: Структура *TAM* (Davis, 1986)

Проширену верзију *TAM*, под називом *TAM 2* (енгл. *Extended Technology Acceptance Model – TAM 2*), креирали су аутори *Venkatesh* и *Davis* 2000. године (Venkatesh & Davis, 2000). Овај модел представља проширење постојећег *TAM*-а, са додатним детерминантама, као што су: детерминанте друштвеног утицаја (субјективна норма, добровољност и имиџ, који одређују перципирану корисност и намеру коришћења) и когнитивне инструменталне детерминанте (релевантност посла, квалитет резултата, приказ резултата и перципирана лакоћа употребе, који директно одређују перципирану корисност) (Venkatesh & Davis, 2000). Структура *TAM 2* приказана је на Слици 21.



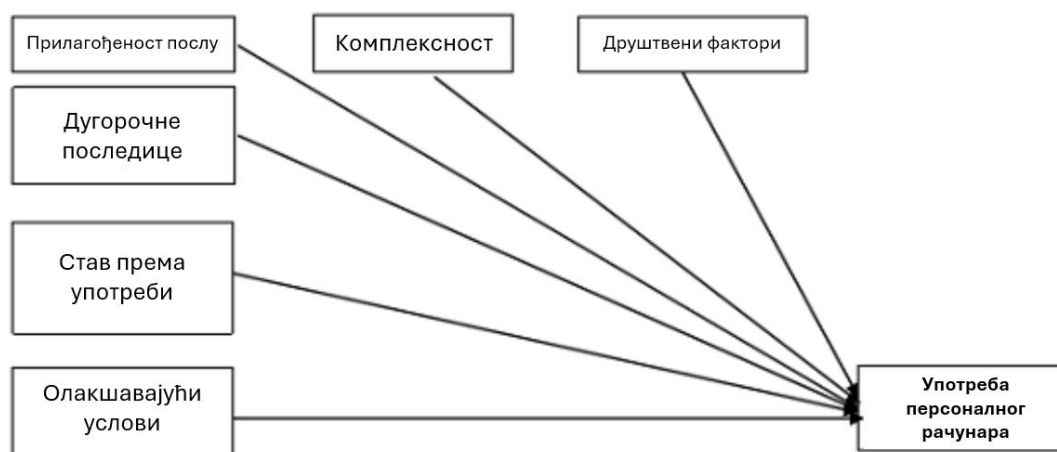
Слика 21: Структура TAM 2 (Venkatesh & Davis, 2000)

6.5. Модел употребе персоналног рачунара

Модел употребе персоналног рачунара (енгл. *Model of Personal Computer Utilization - MPCU*) креиран је 1991. године од стране аутора *Thompson, Higgins* и *Howell* (1991), као надоградња *TRA*, како би се у што већој мери разумели фактори који утичу на употребу персоналних рачунара, као и да се предвиди понашање при коришћењу рачунара. Структура овог модела је приказана на Слици 22., а у наставку текста објашњене су дефиниције детерминанти модела (Thompson и сарадници, 1991):

- Детерминанта „прилагођеност послу” представља „у којој мери појединац верује да примена технологије може да унапреди лични или пословни учинак”;
- Детерминанта „комплексност“ представља „степен до којег се иновација доживљава као релативно тешка за разумевање и примену”;
- Детерминанта „друштвени фактори” представља „индивидуализацију субјективне културе референтне групе и специфичне међуљудске споразуме које је појединац склопио са другима, у одређеним друштвеним институцијама”;
- Детерминанта „дугорочне последице” представља „исходе који ће кориснику бити од користи у будућности”.

- Детерминанта „став према употреби”“ представља „осећај радости, усьићења, задовољства, или депресије, гађења, незадовољства, мржње које појединац повезује са одређеним чином употребе”;
- Детерминанта „олакшавајући услови” подразумева „пружање подршке корисницима персоналних рачунара, као једна врста олакшавајућих услова која може утицати на употребу рачунара”.

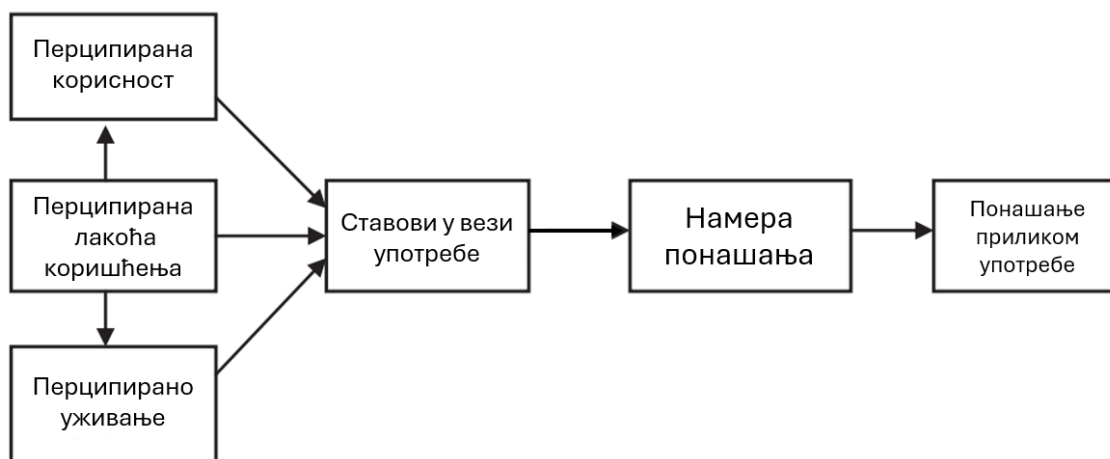


Слика 22: Структура MPCU (Thompson и сарадници, 1991)

6.6. Мотивациони модел

Мотивациони модел (енгл. *Motivational Model* - MM) развијен је 1992. године од стране аутора Davis и сарадници. Креиран је у складу са истраживањима о мотивацији у психологији (Cocosila и сарадници, 2009) и заснован је на претпоставци да унутрашње и спољашње мотивације, као и хедонистичке и посебне потребе мотивишу појединца да усвоји технологију (Luo и сарадници, 2011). Овај модел истиче да су за примену технологија важна два кључна покретача: унутрашња и спољашња мотивација. Спољашња мотивација представља „детерминанту који се односи на ситуације када се нека активност извршава у циљу постизања неког спољашњег исхода”, док унутрашња мотивација представља „обављање активности ради унутрашњег задовољства” (Ryan & Deci, 2000). Структура овог модела је приказана на Слици 23. Према (Davis и сарадници, 1992), мотивације које су засноване на унутрашњим и личним циљевима се разликују од оних које су усмерене ка спољашњим циљевима, као, нпр.

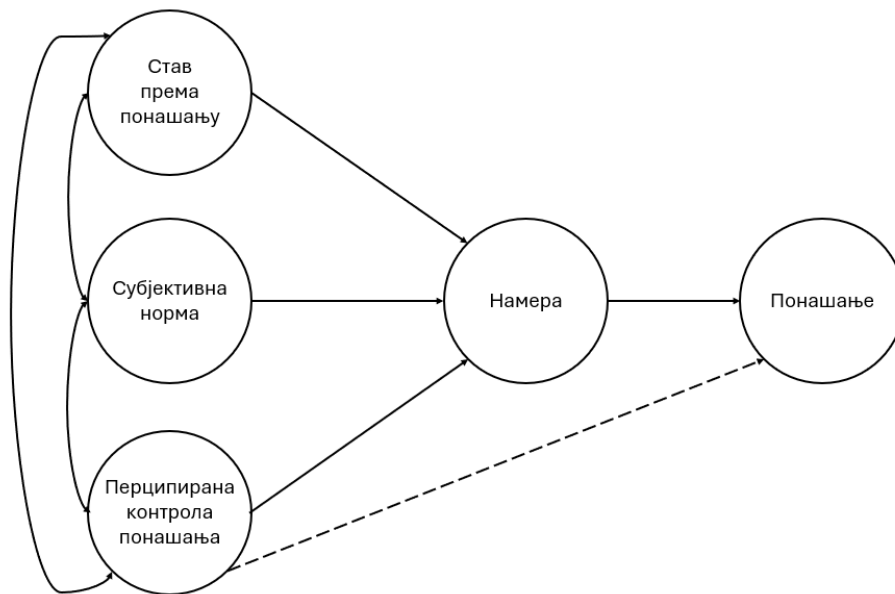
напредовање у каријери. Унутрашња мотивација односи се на јачање и уживање у процесу извођења неког поступка, због чега је примена технологије условљена не само спољашњим, већ и унутрашњим мотивима, чинећи спољашње и унутрашње мотиве значајним детерминантама понашања (Луо и сарадници, 2011).



Слика 23: Структура *ММ* (Луо и сарадници, 2011)

6.7. Теорија планираног понашања

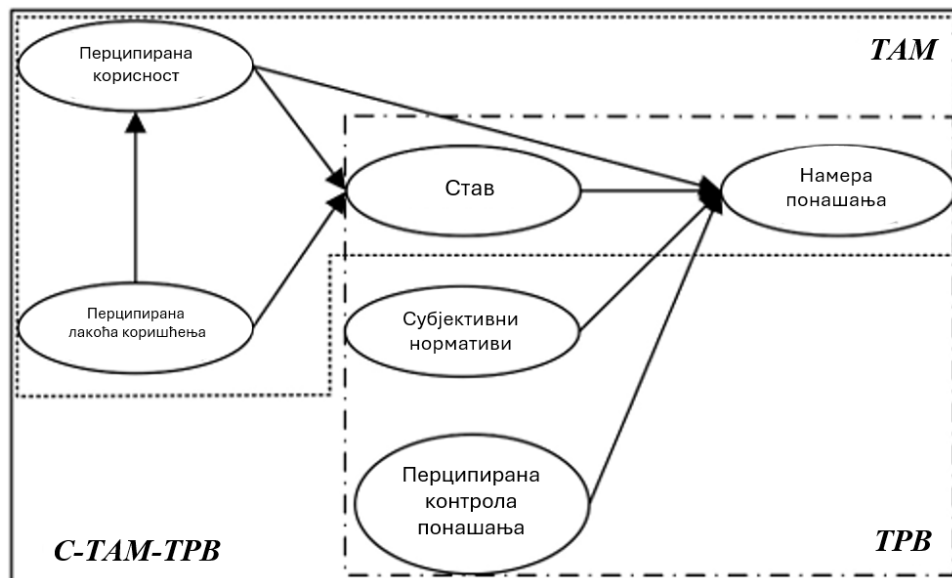
Теорија планираног понашања (енгл. *Theory of Planned Behavior - TPB*) представља надоградњу *TRA*, која истиче да је намера појединца да изврши жељено понашање. Намера је заснована на ставовима према понашању, субјективним нормама о ангажовању у понашању и перцепцијама о томе да ли ће појединац бити у стању да се успешно укључи у циљно понашање или не (Ajzen, 1985). Према истом аутору, став према понашању представља позитивну или негативну оцену извођења тог понашања. Ставови су засновани на веровањима, норме су засноване на нормативним веровањима и мотивацији да се примењује, а перципирана контрола понашања је заснована на уверењима да појединац поседује могућности и ресурсе који су потребни да се укључе у понашање (Marangunić & Granić, 2015). Према истим ауторима, сврха ове теорије је да предвиди и разуме утицај мотивације на понашање које није под вољном контролом појединца и да идентификује како и где усмерити стратегије за промену понашања. Ова теорија заснована је на чињеници да су људи рационална бића и да доносе одлуке на основу расположивих информација. Структура овог модела је приказана на Слици 24.



Слика 24: Структура *TPB* (Ajzen, 1991)

6.8. Комбиновани модел *TAM* и *TPB*

Комбиновани модел *TAM* и *TPB* (енгл. *Combined TAM-TPB – C-TAM-TPB*) предложен је 1995. године од стране аутора *Taylor* и *Todd* (1995), комбиновањем два постојећа модела, *TAM* и *TPB*. Структура овог модела приказана је на Слици 25. Према овом моделу, намера понашања је функција става, перципиране корисности, перципиране лакоће коришћења, субјективних норматива и перципиране контроле понашања. Што су вредности ових детерминанти веће, то је израженија намера за извођење одређеног понашања, односно, што је већи степен лакоће примене технологије, то је интензивније веровање у корисност технологије, што утиче на формирање повољнијег става (Taylor & Todd, 1995).



Слика 25: Структура C-TAM-TPB (Taylor & Todd, 1995)

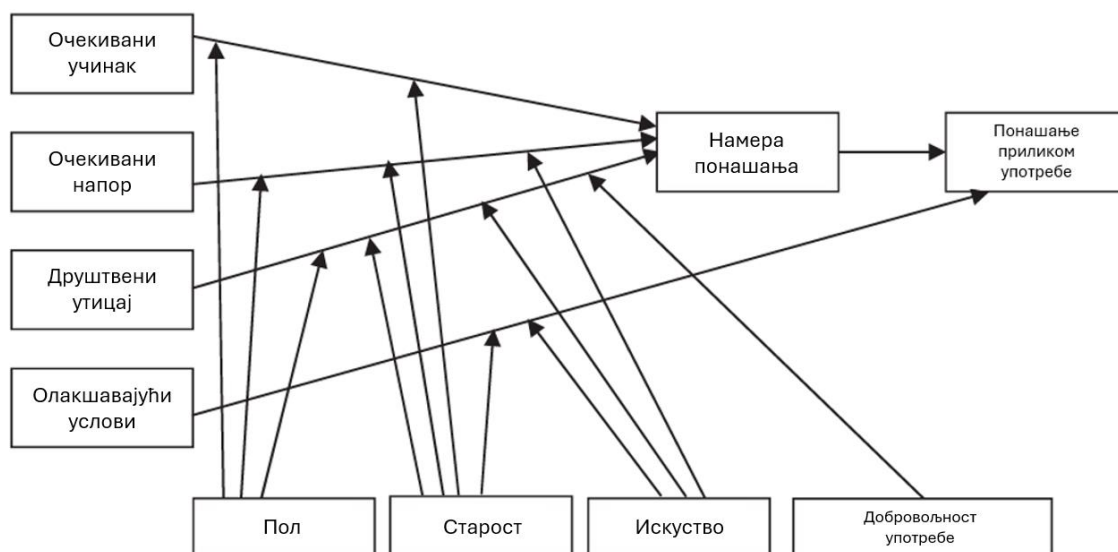
6.9. Јединствена теорија за прихватање и примену технологије

У циљу примене само једног модела, аутори Venkatesh и сарадници (2003) су 2003. године развили Јединствену теорију за прихватање и примену технологије (енгл. *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology - UTAUT*). У односу на остале теорије и моделе, овај модел представља теоријски напредак у испитивању и истраживању прихватања технологија (Dwivedi и сарадници, 2011), а настао је интеграцијом кључних елемената осам доминантних теорија и модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија, комбинујући интерне и екстерне утицаје, спољашње и унутрашње мотиве (Williams и сарадници, 2015). Ових осам доминантних теорија и модела, које су претходно представљене у овом раду, су: Теорија дифузије иновација (*IDT*), Теорија рационалног избора (*TRA*), Социјално когнитивна теорија (*SCT*), Модел за прихватање технологије (*TAM*), Модел употребе персоналног рачунара (*MPCU*), Мотивациони модел (*MM*), Теорија планираног понашања (*TPB*) и Комбиновани модел *TAM* и *TPB* (*C-TAM-TPB*). Основна намена овог модела је примена за процену вероватноће увођења нове технологије, кроз „процену нивоа прихватања и примене технологије од стране корисника” (Venkatesh и сарадници, 2003). Такође, намењена је и за дефинисање основних мотива и фактора за прихватање нових технологија којим се воде корисници, са циљем за применом корективних процедура, у циљу бољег

пласирања технологије на тржишту (Venkatesh и сарадници, 2003). *UTAUT* модел има четири основне детерминанте, где се термин системи односе на технологије (Venkatesh и сарадници, 2003):

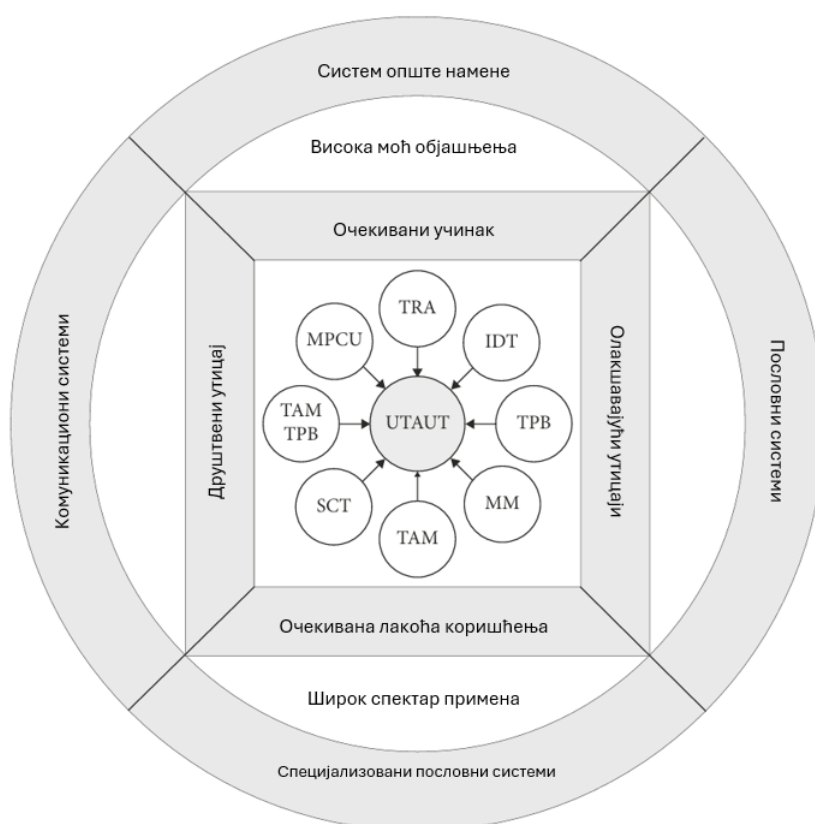
- **Очекивани учинак (ОУ)** (енгл. *Performance Expectancy - PE*): представља оцену корисника о томе колико систем може помоћи у постизању бољег учинка на послу;
- **Очекивана лакоћа коришћења (ОЛК)** (енгл. *Effort Expectancy - EE*): представља оцену корисника о лакоћи коришћења система;
- **Друштвени утицај (ДУ)** (енгл. *Social Influence - SI*): представља оцену корисника система о важности да други корисници сматрају да треба да користи тај систем;
- **Олакшавајући услови (ОЛУ)** (енгл. *Facilitating Conditions - FC*): представљају оцену корисника система о подршци организационе и техничке инфраструктуре за коришћење система.

Ове четири детерминанте су независне директне детерминанте зависних детерминанти намере понашања (НП) (енгл. *Behavioural Intention - BI*) и понашања приликом примене технологија (ППТ) (енгл. *Use Behaviour - UB*), а на њихове вредности утиче пол (енгл. *Gender*), старост (енгл. *Age*), искуство (енгл. *Experience*) и добровољност примене (енгл. *Voluntariness of Use*) (Venkatesh и сарадници, 2003). Сматра се да, испитивањем вредности сваке детерминанте овог модела, истраживачи и практичари могу да процене намеру појединца да примени одређену технологију, као и да дефинишу кључне утицаје на њихово прихватање (Williams и сарадници, 2015) и последично понашање приликом примене (Dwivedi и сарадници, 2011). Структура *UTAUT* модела приказана је на Слици 26.



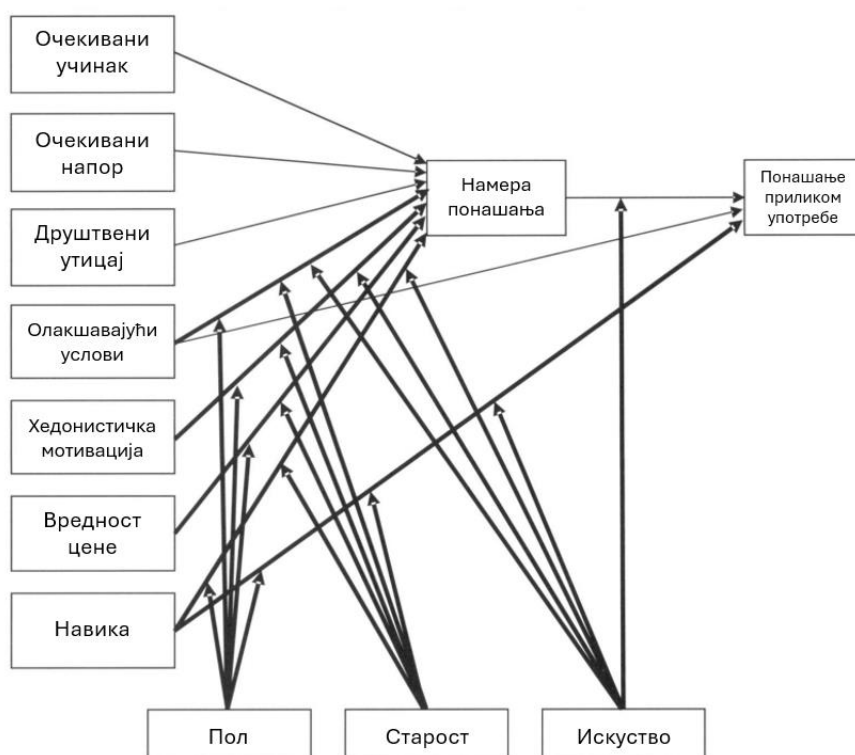
Слика 26: Структура *UTAUT* (Venkatesh и сарадници, 2003)

Због комплексности, аутори (Teng и сарадници, 2022) предлажу другачију структуру *UTAUT* модела, као што је приказано на Слици 27.



Слика 27: Предлог измењене структуре *UTAUT* (Teng и сарадници, 2022)

Развој технологија довео је до проширења *UTAUT* модела, на контекст примене од стране корисника, чиме је 2012. године креиран *UTAUT 2* (енгл. *Extended Unified Theory of Acceptance and Use of Technology - UTAUT 2*) (Venkatesh и сарадници, 2012). У овом моделу наглашена је хедонистичка карактеристика корисника, кроз три детерминанте: хедонистичка мотивација (ХМ) (енгл. *Hedonic Motivation - HM*), вредност цене (ВЦ) (енгл. *Price Value - PV*) и навика (Н) (енгл. *Habit - H*). Структура *UTAUT 2* модела приказана је на Слици 28.



Слика 28: Структура *UTAUT 2* (Venkatesh и сарадници, 2012)

На основу представљених теорија и модела, појединачна хипотеза истраживања *X(1.4):* *Постоје теорије и модели који се користе за анализу детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом, је потврђена.*

6.10. Одабир модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија

На основу описа и карактеристика теорија и модела који су представљени у поглављу шест, *TAM* и *UTAUT* модели највише одговарају предмету и циљу истраживања који су предложени у овој дисертацији, с обзиром да су оба модела намењена за оцену прихватања и примене технологија од стране корисника.

Оба модела су намењена за оцену разлога за прихватање или неприхватање технологија од стране корисника, као и за предвиђање степена прихватања или не прихватања технологија (Ammenwerth, 2019). Будући да је примарни циљ *TAM* да испита перцепцију корисника и прихватање технологије (Buabeng-Andoh & Baah, 2020), овај модел је подвргнут критикама због концептуалне једноставности (Bagozzi, 2007), немогућности укључивања спољашњих варијабли (Dishaw & Strong, 1999), ограничењима у разматрању постојећих технологија и утицаја на коришћење нових технологија (Susanto и сарадници, 2021), као и изостављању људских и друштвених фактора (Davis, 1989). У поређењу са *TAM*, *UTAUT* модел има бољу способност предвиђања намере за прихватање и примену технологије (Okumus и сарадници, 2018). *UTAUT* модел је креиран на основу осам већ постојећих модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија, укључујући и *TAM*, што чини *UTAUT* значајно комплекснијим моделом.

Аутори у (Dwivedi и сарадници, 2010) приказали су резултате прегледа о поређењу ова два модела. Према резултатима до којих су дошли, *UTAUT* модел се чешће примењује за процену примене технологија од *TAM* (Tosuntas и сарадници, 2015). Поред тога, многи аутори (Indrati и сарадници, 2011; Ling и сарадници, 2011) су, упоређивањем *TAM* и *UTAUT* модела, закључили да *UTAUT* модел пружа боља предвиђања. У Табели 17. представљено је поређење ова два модела по одређеном броју критеријума, где су јасно истакнуте предности *UTAUT* модела у односу на *TAM*.

Табела 17: Поређење *TAM* и *UTAUT* модела (прилагођено према (Ling и сарадници, 2011))

Р.б.	Критеријуми	TAM	UTAUT
Сличности			
1	Поузданост	Примењив у различитим контекстима	
2	Врста система	Информационо-комуникационе технологије	
Различитости			
3	Модел	Један од најзначајнијих проширења TRA модела	Настао на основу осам постојећих модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија
4	Мерне вредности	Две кључне детерминанте: перципирана корисност и перципирана лакоћа коришћења	Четири кључне детерминанте: очекивани учинак, очекивана лакоћа коришћења, друштвени утицај и олакшавајући услови
5	Поље примене	Више у пословним и комерцијалним окружењима	Различити домени пословања
6	Прецизност модела у предвиђању понашања корисника	40 [%]	70 [%]
7	Фокус	Искључиво на нивоу предузећа	На нивоу предузећа и нивоу корисника

На основу приказаних података у Табели 17. може се извести закључак да је *UTAUT* модел настао на основи од осам модела, што је знатно више у односу на *TAM*, који представља унапређену верзију једног модела. *UTAUT* модел има дупло више кључних детерминанти од *TAM*, које омогућавају прецизнију анализу и могу се применити у различитим доменима пословања. Овај модел пружа скоро дупло већу валидност добијених резултата, односно детерминанте овог модела могу са прецизношћу од 70 [%] предвидети и објаснити промене у понашању корисника у контексту прихватања и примене технологија, док прецизност *TAM* модела износи 40 [%]. Оба модела омогућавају анализу прихватања и примене технологија на нивоу целог предузећа, док *UTAUT* модел омогућава и на нивоу појединаца, односно корисника. Додатно, *TAM* модел је, према (Ammenwerth, 2019), најчешће коришћен модел у истраживањима о прихватању технологија, као и у дефинисању главних детерминанти за прихватање информационих технологија. Међутим, развојем *UTAUT* модела, омогућена је и идентификација мотива за прихватање технологија

(Venkatesh и сарадници, 2003). TAM је креиран да би се оценило прихватање технологија од стране корисника који су усмерени на задатке, док је његова примена на неструктурираним и неодређеним околностима упитна (Kim, 2014).

Међутим, важно је представити и главне недостатке оба модела. TAM модел сматра се поједностављеним моделом који се фокусира на перципирану корисност и перципирану лакоћу коришћења, што доводи до недостатка сложених варијабли које утичу на усвајање технологије (Lee и сарадници, 2025), као и до изостављања детерминанти као што су образовање или старост, које би могле утицати на прихватање технологије (Zahid и сарадници, 2013). Овај модел није адекватан за практичну употребу у предузећима са дефинисаним правилима и прописима (Ajibade, 2018). UTAUT модел се сматра превише сложеним моделом, у чијем оквиру недостају индивидуалне карактеристике које учествују у понашању и описују склоности корисника које би могле бити значајне у тумачењу њиховог понашања (Dwivedi и сарадници, 2017). UTAUT модел може да се састоји од детерминанти које нису релевантне (Bervell & Umar, 2017), док неке оригиналне UTAUT детерминанте постају мање значајне увођењем нових детерминанти (Blut и сарадници, 2022).

На основу свега претходно наведеног, поређењем оба модела према наведеним критеријумима, посматрајући и предности и недостатке, може се закључити да UTAUT модел представља адекватан модел који може да се примени за анализу детерминанти намере, понашања, прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији и као такав, предлаже се да буде примењен за потребе будућег истраживања. Поред тога, на основу резултата тог истраживања могуће је дефинисати и модел детерминанти за прихватање и примену технологија у управљању производњом производним предузећима, уз могућност да се UTAUT модел прошири додавањем нових детерминанти.

На основу представљеног у овом потпоглављу рада, појединачна хипотеза истраживања *X(1.5): Могуће је одабрати адекватан модел за анализу детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом*, је **потврђена**.

6.11. Примери примене *UTAUT* модела

У постојећој литератури постоји велики број примера примене *UTAUT* модела за различите намене. У овом потпоглављу приказани су примери примене *UTAUT* модела за оцену прихватања и примене различитих дигиталних технологија и технолошких концепата, као и дигитализације и аутоматизације у пословању.

Аутори у (Ayaz & Yanartaş, 2020), приказали су резултате примене *UTAUT* модела за анализу детерминанти прихватања система електронског управљања документима (енгл. *Electronic Document Management System - EDMS*), чиме је унапређен начин управљања документима дигиталним путем. Применом *UTAUT* модела, показано је да детерминанте *OU* и *DU* позитивно утичу на *HPI*. Унапређењем наведених детерминанти, од корисника се очекује да ефикасније користе *EDMS* у будућности.

Аутори у раду (Siregar и сарадници, 2022) су, на основу прегледа литературе, развили *UTAUT* модел и идентификовали најзначајније детерминанте намере за прихватање „зелених” пољопривредника. Резултати су показали да постоје три критичне детерминанте које пољопривредник треба да испита, а то су *OU*, *DU* и *OLU*. Такође, у овом раду се истиче да је *HPI* значајано утиче на ППТ.

Безбедносна обука представља обуку од изузетне важности за избегавање повреда и небезбедног понашања радника у индустрији металних, челичних и других конструкција. Са повећавањем нивоа дигитализације, развијена је обука о сигурности и безбедности у метаверзуму (енгл. *Metaverse Safety Training - WAMST*), где радници могу истовремено у виртуелном систему да прођу обуке и симулацију рада. Како би испитали жељу и интересовање радника, аутори у (Guo и сарадници, 2024) спровели си истраживање међу радницима у грађевинским предузећима и применили *UTAUT* модел. Резултати модела показали су да детерминанте *OU*, *OLK*, *DU* и *OLU* значајно утичу на спремност грађевинских радника да прихвате обуку на овај начин.

Треба истаћи разлику у примени *UTAUT* модела у зависности од културе народа. Аутори у (Im и сарадници, 2011) применили су овај модел за испитивање прихватања технологија *MP3* плејер и Интернет банкарство у две државе: Кореја и Сједињене Америчке Државе (САД). Резултати су показали да утицај детерминанте

ОУ на *НП* се није значајно разликовало између две државе, из чега се изводи закључак да је *ОУ* важна детерминанта која подједнако утиче на прихватање технологије у овим државама. *ОЛК* има већи утицај на *НП* у САД него у Кореји, на основу чега се може закључити да једноставност примене технологије има већи значај код корисника у САД, него у Кореји. Што се тиче детерминанте *ДУ*, не постоји значајна разлика у друштвеном утицају између ове две државе, као ни утицај *ОЛУ*. Утицај *НП* на ППТ био је већи САД него у Кореји, што указује да ће корисници у САД највероватније користити ове технологије уколико су имали намеру, што се разликује од корисника у Кореји.

У раду (Ronaghi & Forouharfar, 2020) приказана је примена *UTAUT* модела за испитивање степена спремности за примену технологије Интернет „интелигентних” уређаја у „паметној” пољопривреди, што представља савремени облик пољопривреде која примењује савремене дигиталне технологије, алате, машине и уређаје за унапређење квантитета и квалитета пољопривредних усева. Резултати примене модела показали су позитиван утицај детерминанти *ОУ*, *ОЛК*, *ДУ*, *ОЛУ*, као и додатних детерминанти, за примену технологије Интернет „интелигентних” уређаја. Такође, значајан је и утицај намере понашања на стварну примену и имплементацију технологије Интернет „интелигентних” уређаја у „паметној” пољопривреди.

У раду (Оуе и сарадници, 2014) приказана је примена *UTAUT* модела о нивоу прихватања и примене информационих технологија у високошколским установама, од стране универзитетског академског особља, које примењује информационе технологије на свом радном месту. Резултати су показали да све четири детерминанте *UTAUT* модела (*ОУ*, *ОЛК*, *ДУ* и *ОЛУ*) имају позитиван утицај на *НП* на примену информационих технологија у свакодневном раду, а детерминанте *ОУ* и *ДУ* издвајају се као најутицајније.

Аутори у (Zhang и сарадници, 2023) представили су примену *UTAUT* модела за потребе истраживања понашања у вези прихватања *Blockchain* технологије у управљању ланцима снабдевања у Пакистану. Резултати су показали да на прихватање ове технологије позитивно утичу детерминанте модела *ДУ*, *ОЛУ*, као и додатне детерминанте, технолошка спремност и афинитет према технологији, док *ОУ* и *ДУ* негативно утичу на прихватање ове технологије.

Аутор *Venkatesh* у (Venkatesh, 2022) бавио се применом *UTAUT* модела у циљу истраживања намере и примене технологије Вештачке интелигенције од стране запослених. Осим стандардне примене овог модела, аутор је, на основу резултата, предложио нове детерминанте *UTAUT* модела. Те детерминанте су: индивидуалне карактеристике, карактеристике технологије, карактеристике животне средине и интервенције.

Из наведених примера може се закључити да *UTAUT* модели имају широку примену у испитивању прихватања и примене технологија, као и да постоји могућност проширења модела са другим детерминантама, које нису дефинисане стандардним теоријама и моделима.

7. КЉУЧНИ ИНДИКАТОРИ ПЕРФОРМАНСИ ДИГИТАЛНЕ ТРАНСФОРМАЦИЈЕ У УПРАВЉАЊУ ПРОИЗВОДЊОМ

За сваки пословни систем неопходно је континуирано праћење и мерење перформанси, како би, на основу резултата, могла да се спроведу прилагођавања и усклађивања пословних резултата са жељеним резултатима и постизање циљева предузећа (Rađenović и сарадници 2023). За ефикасно мерење перформанси од велике важности је дефинисати специфичне индикаторе перформанси, као и њихове референтне вредности, како би могла да се спроведу поређења измерених вредности са референтним, односно жељеним вредностима (Lečić-Cvetković и сарадници, 2024). Услед увођења дигитализације у пословање, указала се потреба за праћењем и мерењем кључних индикатора перформанси којима се дигитално могу мерити активности, настале као резултат дигитализације и аутоматизације, односно дигиталне трансформације (*DTKPI*). „Дигиталну трансформацију карактерише фузија напредних технологија и интеграција физичких и дигиталних система, омогућавајући да преовладају иновативни пословни модели и нови производни процеси” (Almeida и сарадници, 2020). Дигитализација је резултовала у примени дигиталних технологија и дигиталне трансформације на неколико начина. Прво, предузећима је омогућено да брже и лакше мере и анализирају *KPI*, на основу веће количине података, користећи технологије као што су Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци, чиме се проширује постојећи скуп *KPI* које предузећа користе и мере, што омогућава боље праћење процеса предузећа (Siedler и сарадници, 2020), у циљу смањења трошкова производње и повећања флексибилности. Друго, као резултат примене дигитализације и аутоматизације у пословању, односно дигиталне трансформације, појавиле су се и потребе за увођењем нових *KPI* за мерење ефикасности пословних модела и процеса. Из тог разлога, у овом поглављу су укратко приказани појмови „перформансе” (потпоглавље 7.1), „индикатори перформанси” (потпоглавље 7.2) и „кључни индикатори перформанси” (потпоглавље 7.3), као и резултати прегледа релевантне литературе на тему примене кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације (*DTKPI*) у производним предузећима (потпоглавље 7.4). Део резултата овог истраживања објављени су у радовима Janković и сарадници (2024) и Janković и сарадници (2025).

7.1. Перформансе и управљање перформансама

Перформанса (енгл. *Performance* - *P*) представља основну карактеристику резултата функционисања предузећа (Neely, 2002). Мерење перформанси представља саставни део пословања савремених предузећа, чијом применом се мере и оцењују организационе и руководствене перформансе тог предузећа (Noque, 2010).

Управљање перформансама је термин који се појавио почетком '90-их година XX века (Armstrong & Baron, 2005) и представља основу савременог приступа управљања пословањем (Mohrman и Mohrman, 2004). Додатно, управљање перформансама представља континуирани процес идентификовања, мерења и унапређења перформанси, повезујући перформансе и циљеве заинтересованих страна са општом мисијом и циљевима предузећа (Aguinis, 2005). Два важна елемента ове дефиниције су: континуирани процес - управљање перформансама је дуготрајан процес, у коме се дефинишу и постављају циљеви и мере вредности перформансе, и повезаност са мисијом и циљевима предузећа - у управљању перформансама, дефинишу се активности за унапређење вредности перформанси, у складу са циљевима предузећа, зарад конкурентске позиције и пословних предности. Управљање перформансама ствара директну везу између учинка запослених и циљева предузећа, што доводи до конкретног доприноса запослених успеху предузећа. Резултат управљања перформансама је унапређење индивидуалних и тимских перформанси, ради постизања циљева предузећа (Hendry и сарадници, 2000). Такође, то представља „усмеравање и подршку запосленима да раде што ефикасније и делотворније у складу са потребама предузећа” (Walters, 2005). Управљање перформансама може подржати развој запослених, али је важно навести проблеме на које се може наићи у том процесу, попут (Hendry и сарадници, 2000): веза између пословних резултата и подстицаја запослених, фокуса на учинак, веза између понашања запосленог као појединца и пословних циљева, и друго.

Поред тога, управљање перформансама повезује делове пословног система и ствара јединствену целину (Golubović и сарадници, 2013). То је континуирани процес идентификовања, мерења и унапређења перформанси у предузећу, путем повезивања перформанси и циљева појединаца са мисијом и циљевима предузећа. Мерењем перформанси може се утврдити колико су предузећа или појединци

успешни у остваривању својих циљева и стратегија (Ofori, 2012). Основни разлози за потребу за увођењем система за управљање перформансама су (Garengo и сарадници, 2005): недостатак људских ресурса (превелика ангажованост запослених око дневних задатака, због чега им недостаје времена да се посвете дефинисању и управљању перформансама), реактивни приступ (решавање проблема након што се појави, а не његово предвиђање и спречавање настанка), капацитети руководиоца (превелико ангажовање, као и обављање више послова истовремено, може утицати на смањење расположивог времена и капацитета руководиоца да се бави управљањем перформанси), погрешно схватање мерења перформанси (правилна примена система за управљање перформансама је ефикасна само уколико руководиоци и запослени разумеју како се они користе), ограничени ресурси (недостатак материјалних и нематеријалних ресурса), недовољно пажње за формализацију процеса (што додатно отежава процес прикупљања података за имплементацију и примену система за управљање перформансама). Прецизно одређивање вредности перформанси, односно мерење перформанси, врши се применом индикатора перформанси.

Подела перформанси зависи од типа предузећа, као и сврхе за коју се дефинишу. Основна класификација перформанси је на финансијске (засноване на трошковима, приходима, повраћају инвестиција и друго) и нефинансијске (односе се на квалитет и време) (Digalwar & Sangwan, 2011), интерне (односе се на интерне перформансе предузећа, попут: процеса, запослених, трошкова и друго) и екстерне (односе се на добављаче, купце, односно заинтересоване стране и конкуренцију) (Maskell, 2013; Sangwan & Digalwar, 2008; White, 1996). На нивоу предузећа, основна подела перформанси је на (Ishaq Bhatti и сарадници, 2013):

1. **Перформансе квалитета** – кључне су за успех пословања, јер понуда квалитетних производа привлачи и задржава купце. Посматрају се кроз димензије: поузданост, усаглашеност, перципирани квалитет, издржљивост, естетика и употребљивост;
2. **Перформансе флексибилности** – флексибилност као способност предузећа да обавља више различитих задатака, а перформансе се посматрају кроз: модификацију производа и процеса, као и времена циклуса производње, промена у подешавању и унапређењу машина и алата, флексибилност у односу на конкуренцију, и друго;

3. **Перформансе времена** – као важан фактор за мерење продуктивности предузећа, посматрају се кроз време: обрта залиха, испоруке, извођења операција, пласмана производа на тржиште и друго;
4. **Перформансе безбедности** – односно безбедности на радном месту, које се посматрају кроз: ниво безбедности преноса информација, учесталости незгода и повреда на раду и друго;
5. **Перформансе финансија** – за процену учинка предузећа, попут: вредности продаје, профита, повраћаја на имовину, трошкова продаје, отпада, раста продаје и друго;
6. **Перформансе трошкова** – за праћење трошкова пословања, попут: трошкови производње у односу на конкуренте, трошкови материјала и сировина, трошкови одређеног канала продаје, трошкови машина и алата, трошкови дистрибуције и друго;
7. **Перформансе задовољства запослених** – као важне перформансе које у великој мери утичу на друге перформансе предузећа. Задовољан запослени сматра се вредним ресурсом предузећа, стога је битно пратити перформансе задржавања запослених, општег задовољства запослених, изостајања (оправдано или неоправдано) са посла и друго;
8. **Перформансе учење и развоја** – односе се на иновације, развој и напредак, чиме предузећа постају конкурентнија на тржишту. Важна је улога и значај дигиталних технологија, које омогућавају развој иновација, нарочито у процесу производње. Стога, за ову групу перформанси важно је пратити ниво образовања и ИТ писменост запослених, улагање у обуку и тренинге, интерна унапређења и друго, са циљем раста и развоја предузећа и производног портфолија;
9. **Перформансе животне средине** – у контексту друштвено-одговорног става предузећа да ангажује и запошљава локално становништво, као и свест предузећа о заштити екологије и животне околине. У том смислу се посматрају перформансе загађења, произведеног отпада, ангажовања локалног становништва, жалбе на загађење животне средине, еколошки прихватљиви пројекти, и друго;

10. **Перформансе задовољства купаца** – задовољни купац често постаје лојални купац, што утиче на повећање профита предузећа, конкурентности на тржишту, учесталост испоруке и друго;
11. **Перформансе поузданости испоруке** – перформансе које су важне за унапређење и оптимизацију пословања, за повећање задовољства купаца, смањење рекламација, као и унапређење планирања залиха и трошкова.

За мерење перформанси развијени су се различити модели, односно системи за мерење перформанси (енгл. *Performance Measurement Systems - PMS*). Основне димензије *PMS* су (Garengo и сарадници, 2005): усклађеност са стратегијом (кључна димензија, *PMS* мора да омогући да одабране перформансе буду у складу са стратегијом пословања предузећа), фокус на заинтересоване стране (захтеви заинтересованих страна су главна полазна тачка у дизајну *PMS*), динамичка прилагодљивост (на основу резултата *PMS*, предузеће треба брзо да реагује применом одређених промена у пословању), дубина и ширина сагледавања проблема (сагледавати предузеће као целину, састављену од низа појединачних процесе), јасноћа и једноставност примене система (циљеви и перформансе су јасно дефинисани и пренети свим запосленима који су укључени у мерење и праћење перформанси), уравнотеженост у пословању, оријентација на процесе (предузеће се посматра као организациона јединица састављена од координисаних процеса који чине један систем), стварање узрочно-последичних веза (са циљем контроле и унапређења) и развој пословне стратегије. У производним предузећима, аутори (Susilawati и сарадници, 2013), указују да се могу креирати вишедимензионални модел перформанси, кроз шест група перформанси: управљање производњом, управљање запосленима, односи са добављачима, односи са купцима, истраживање и развој, ефикасност производње.

Према (Striteska & Spickova, 2012), најзначајнији и најчешће примењени модели у пракси су: Карта уравнотежених показатеља (енгл. *Balanced Scorecard - BSC*) и *EFQM* модел пословне изврности (енгл. *European Foundation for Quality Management Excellence Model-EFQM*). Поред ових модела, у пракси се примењују и следећи модели: Пирамида перформанси (енгл. *Performance Pyramid*), Призма перформанси (енгл. *Performance Prism*), Упитник система за управљање перформансама (енгл. *The Performance Measurement Questionnaire - PMQ*), Кањијев

систем за мерење пословне изврности (енгл. *Kanji Business Excellence Measurement System - KBEMS*), Интегрисани систем за управљање перформансама (енгл. *The Integrated Performance Measurement Framework - IPMS*) и многи други.

7.2. Индикатори перформанси

Перформансе се мере помоћу индикатора перформанси. Индикатори перформанси (енгл. *Performance Indicators - PI*) представљају меру перформанси и начин за утврђивање њене вредности, омогућавајући контролу (руководиоци и запослени могу да процене и контролишу перформансе ресурса којима управљају), комуникацију (између интерно и екстерно запослених) и унапређење (индикатори указују на недостатке и лоше резултате пословања, али и чине основу за дефинисање мера за њихово отклањање и унапређење) (Franceschini и сарадници, 2019). Овај термин потиче од латинске речи *Indicare*, чије је значење прогласити или нагласити (Von Schirnding, 2002). Индикатор перформанси треба да буде јасно дефинисан и прихваћен од стране руководства и запослених у предузећа. Са повећањем броја варијабли које се мере за једну перформансу, услед повећања комплексности пословања предузећа, неопходно је обезбедити да сваки индикатор испуни своју сврху. Мерење индикатора перформанси је кључан и неопходан корак који обезбеђује повратну информацију о резултату спроведене управљачке акције (Атанасов, 2016; Simmons, 2000). Индикатори перформанси омогућавају поређење вредности перформанси са жељеним вредностима или вредностима из претходних периода мерења.

Применом дигиталних технологија, убрзан је и олакшан начин прикупљања података, чиме је омогућено ефикасније мерење индикатора перформанси (Contini и сарадници, 2023). Мерење индикатора перформанси је кључно за утврђивање резултата пословања предузећа, као и за доношење одлука којима се утиче на побољшавање перформанси и индикатора перформанси (Contini & Peruzzini, 2022). Индикатор перформанси може се поредити са претходно оствареним вредностима, са постављеним циљем, као и упоредити са вредностима другим индикатора из, нпр. других предузећа (Simmons, 2000).

Основна подела индикатора перформанси је по (Simmons, 2000) на:

1. **Субјективне** (који се не могу независно измерити и проверити) и **објективне** (који се могу независно измерити и проверити) индикаторе;
2. **Финансијске** (повезани су са финансијским (контним) планом и приказани су у билансу стања и успеха предузећа, попут: нивои залиха, расположива готовина, и други) и **нефинансијске** (нису садржани у финансијском (контном) плану, попут: степена задовољства купаца, индикатори квалитета производа, и други) индикаторе;
3. **Индикатори исхода** (пружају информације о претходним учинцима, попут: профит из претходног периода, и не пружају увид у будуће перформансе) и **водећи индикатори** (користе се за мерење будућих, најчешће, финансијских перформанси, попут: стопе губитка купаца, промене у потребама потрошача, и друго).

7.3. Индикатори перформанси у управљању производњом

Индикатори перформанси се у производним предузећима примењују како би се користили поуздани и мерљиви подаци за унапређење управљања производњом (Hendry и сарадници, 2000). У овом потпоглављу биће приказана њихова класификација у управљању производњом.

Групе индикатора перформанси које се идентификују у управљању производњом су (Parmenter, 2015):

1. **Индикатори перформанси машина, алата и производне опреме:** величина серије производње, ефикасност производне линије, учинак производне линије и друго;
2. **Индикатори перформанси материјалних ресурса:** просечна количина сировина или финалних производа на залихама, удео расположивих залиха материјала у укупним залихама и друго;
3. **Временски индикатори перформанси у производњи:** укупни временски губици у производњи, кашњења у производњи услед недостатка сировина и друго;
4. **Индикатори перформанси информација, документације и информационих система:** брзина обраде података, стопа поузданости информационих система, проценат потпуности документације и друго.

На основу подела перформанси у предузећу које су приказане у потпоглављу 7.1, према (Ishaq Bhatti и сарадници, 2013), у наставку су наведене групе индикатора перформанси који су важни за управљање производњом (De Toni & Tonchia, 2001; Gosselin, 2005, Flin и сарадници, 2000; Mearns и сарадници, 2003; Neely и сарадници, 2005; Parmenter, 2015; White, 1996):

1. **Индикатори перформанси квалитета** – проценат произведених производа незадовољавајућег квалитета, проценат производа враћених на дораду, проценат сировина незадовољавајућег квалитета, и друго;
2. **Индикатори перформанси флексибилности** – просечно време за замену алата, просечан број замене алата, процентуално повећање дневног броја подешавања на машинама, просечно време чекања због проблема са опремом, просечно време чекања због проблема са радном снагом, проценат поремећаја изазваних кваровима, и друго;
3. **Индикатори перформанси времена** – просечно време производње по типу производа, просечно време подешавања алата, просечно време припреме испоруке, просечно времена чекања на доступност сировина и материјала за производњу, просечно време протока документације, и друго;
4. **Индикатори перформанси безбедности** – изгубљено време због незгода и повреда на раду, стопа повреда на раду, проценат високо ризичних радних места, просечан број ризика по радном месту, просечан број обука запослених о безбедности на раду, и друго;
5. **Индикатори перформанси финансија** – повраћај на уложени капитал, учешће вредности сировина у цени готовог производа, повраћај на имовину, процена продаје преко одређеног канала, и друго;
6. **Индикатори перформанси трошкова** – просечан трошак производње по производу, учешће индиректних трошкова рада у укупним трошковима, учешће директних трошкова рада у укупним трошковима, гранични трошак као однос између прираштаја трошкова у функцији промене обима производње, просечан трошак залиха, просечан трошак отпада, проценат трошкова материјала у готовом производу, просечни режијски трошкови, учешће трошка утрошене енергије у укупним трошковима производње, и друго;

7. **Индикатори перформанси задовољства запослених** – просечна оцена задовољства запослених, стопа флукуације, просечан број дана боловања по запосленом, просечна дужина радног стажа запослених, стопа запослених који раде са флексибилним радним временом, проценат нових запослених, и друго;
8. **Индикатори перформанси учења и развоја** – проценат руководиоца који су ИТ писмени, проценат запослених који имају потребно образовање, проценат запослених који поседују сертификат за радну позицију, просечно улагање у обуку запослених, проценат интерних унапређења, просечно време проведено на обуци, и друго;
9. **Индикатори перформанси животне средине** – просечна количина отпадних вода, просечна количина материјала за рециклажу, просечна количина отада опасног по околину, проценат запошљавања локалног становништва, просечан број жалби на угрожавање животне средине од стране локалног становништва, просечан број награда за заштиту животне средине и друго.

У циљу унапређења управљања производњом, потребно је посматрати и индикаторе перформанси који се тичу испоруке и задовољства купаца, попут: индикатора перформанси задовољства купаца - проценат жалби купаца на касне испоруке, проценат жалби купаца на квалитет производа, просечна оцена задовољства купаца за посматрани производ и друго, као и индикаторе перформанси поузданости испоруке - проценат извршених испорука на време, проценат испоручених производа без оштећења у транспорту и друго.

7.4. Кључни индикатори перформанси

Најважнији индикатори перформанси се називају кључни индикатори перформанси. Кључни индикатори перформанси (енгл. *Key Performance Indicators* - *KPI*) представљају мерљиве индикаторе перформанси на основу којих се може сагледати да ли су стратешки циљеви предузећа постигнути (Gusnadi & Hermawan, 2019), који се често мере и имају велики утицај на критичне факторе успеха предузећа (Parmenter, 2015). *KPI* се фокусирају на најкритичније аспекте перформанси предузећа, значајне за тренутни и будући успех, а користе се за мерење најважнијих перформанси и доношење пословних одлука. Такође, *KPI* се

фокусирају на аспекте учинка који су важни за садашњи, али и будући пословни успех предузећа, као и за праћење реализације и постизање садашњих и будућих циљева (Parmenter, 2015). *KPI* се користе у сврху пружања најважнијих информација о резултатима пословања, које омогућавају предузећима и њиховим заинтересованим странама да имају оцене да ли је предузеће на стратешком путу ка остварењу постављених циљева. Дакле, *KPI* се могу користити за контролу учинка предузећа и комуникацију са интерним и екстерним заинтересованим странама, као и за идентификацију потенцијалних проблема између стварног учинка и циљева, како би се извршила унапређења (Krol и сарадници, 2020).

На основу приказане примене перформанси, индикатора перформанси и кључних индикатора перформанси, њиховом класификацијом у управљању производњом, указивањем на важност њихове примене и значај који имају за управљање производњом, као и целим предузећем, **потврђена** је хипотеза истраживања *X(2.1)*: *Кључни индикатори перформанси примењују се у управљању производњом у функцији њеног унапређења.*

7.5. Преглед литературе о примени кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације у управљању производњом

Значај примене *KPI* за мерење нивоа унапређења пословања насталих применом дигитализације и аутоматизације, односно применом технологија Индустрије 4.0, као и дигиталне трансформације предузећа, представља актуелну тему истраживања у многим научним и стручним радовима. Многе перформансе предузећа могу бити унапређене применом технологија Индустрије 4.0, а Индустрија 4.0 може бити основни покретач иновација (Glogovac и сарадници, 2022). „Паметно” управљање иновацијама представља предуслов за боље пословне резултате, као и брже прихватање иновација, што доводи до бољих економских резултата пословања предузећа (Likaг и сарадници, 2023). С обзиром да дигитална трансформација представља континуиран процес, а не коначно одредиште, *KPI* представљају контролне тачке у том процесу (Schrage и сарадници, 2022). За мерење унапређења резултата пословања применом дигитализације,

аутоматизације и савремених технологија Индустрије 4.0, развијени су нови *KPI*, који се у литератури називају *KPI* дигиталних активности (енгл. *Digital Key Performance Indicators - DKPI*) или *KPI* дигиталне трансформације (енгл. *Digital Transformation Key Performance Indicators - DTKPI*). С обзиром да се ради о истој врсти *KPI*, са истом наменом, за ову групу *KPI* у даљем тексту ће бити коришћен акроним *DTKPI*. У овом потпоглављу биће представљени резултати прегледа литературе на тему примене *DTKPI* у управљању производњом, у циљу анализе начина имплементације и ефикасности примене ових *KPI* у оптимизацији различитих аспеката производних процеса, односно унапређењу управљања производњом. За ове потребе извршен је систематски преглед литературе добијени претрагом научних база података *Scopus* и *Web of Science (WoS)*. Приказ дела поставке проблема истраживања, истраживање, резултати истраживања и анализа и дискусија резултата приказаних у овом поглављу публиковани су радовима (Janković и сарадници, 2024; Janković и сарадници, 2025).

7.5.1. Методологија истраживања

За потребе овог истраживања примењена је методологија истраживања кроз четири фазе, као што је приказано на Слици 12: дефинисање истраживачких питања, селекција научних база и преузимање података, преглед и селекција радова и анализа радова. У првој фази дефинисана су два истраживачка питања:

ИП1. Шта су *DTKPI*?

ИП2. Да ли се *DTKPI* мере у производним предузећима?

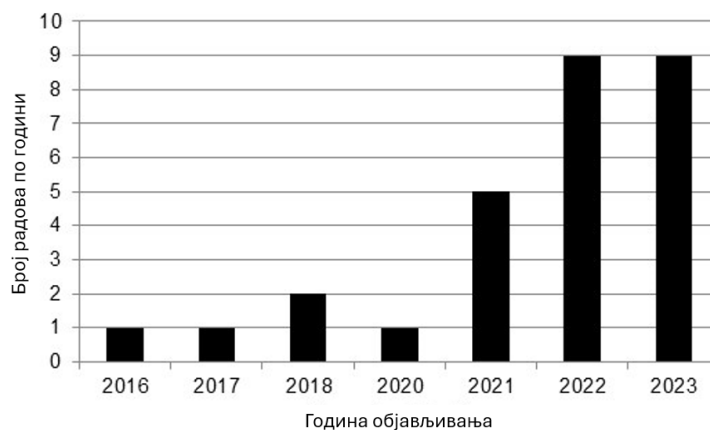
Друга фаза методологије истраживања је селекција научне базе података и преузимање података. Како би се детаљније истражило значење, примена и улога *DTKPI*, примењена је стратегија систематског истраживања. Како би истраживање било свеобухватно и како би се обухватио велики број радова у којима су представљени *KPI* за мерење унапређења управљања производњом применом дигитализације и аутоматизације, односно дигиталне трансформације, за претраживање научних база података одабране су две кључне речи: „*KPI* дигиталних активности“ (енгл. *Digital KPI*) и „*KPI* дигиталне трансформације“ (енгл. *Digital Transformation KPI*). Ови термини су изабрани да обухвате различите

аспекте мерења перформанси и индикатора перформанси у контексту дигиталних иницијатива и комбиновани су применом везника „И” (енгл. *AND*), у циљу прецизнијег резултата претраге (*digital KPI AND digital transformation KPI*). Претрага је обављена коришћењем научних база података *Scopus* и *WoS*, ограничавајући се на наслове радова, апстраката и кључних речи, фокусирајући се на радове објављене у часописима на енглеском језику у периоду од 2014. до 2024. године. Коришћење обе базе података омогућава свеобухватну покривеност анализе различитих издавача, при чему *Scopus* нуди ширу покривеност, а *WoS* омогућава приступ старијим изворима (Thürer и сарадници, 2019). Одабрано је да се претражују само часописи као тип извора, јер су радови објављени у часописима прошли кроз ригорознији процес рецензирања. Претрага је резултирала са укупно 328 радова.

Трећа фаза методологије истраживања је преглед и селекција радова. Уклањањем дупликата, оригинални узорак је смањен на 325 радова. Применом критеријума искључивања и укључивања радова, односно, анализом „унапред-уназад“, додатно је још осам нових радова који су усклађени са терминима за претрагу и истраживачким питањима. Иако нису преузети из *Scopus* и *WoS* базе података, ови радови се сматрају релевантним за истраживање и укључени су у анализу. Прегледом наслова, сажетака и кључних речи радова идентификованих у резултатима претраге, искључено је шест од осам радова из *WoS* базе, 293 од 317 радова из *Scopus* базе и шест од осам додатно прикључених радова, чиме је за четврту фазу истраживања преостало укупно 28 радова. У четвртој фази извршена је анализа одабраних радова, која је приказана у наставку рада.

7.5.2. Анализа радова

На Слици 29. приказано је прогресивно повећање броја објављених радова током година, што је посебно приметно у 2022. и 2023. години, што указује на повећан ниво актуелности теме током те две године. На Слици 30. и у Табели 18. приказане су основне карактеристике узорка од 28 рада.



Слика 29: Дистрибуција одабраних радова по години издавања
(Janković и сарадници, 2024)

У Табели 18. приказани су часописи у којима су објављивани одабрани радови.

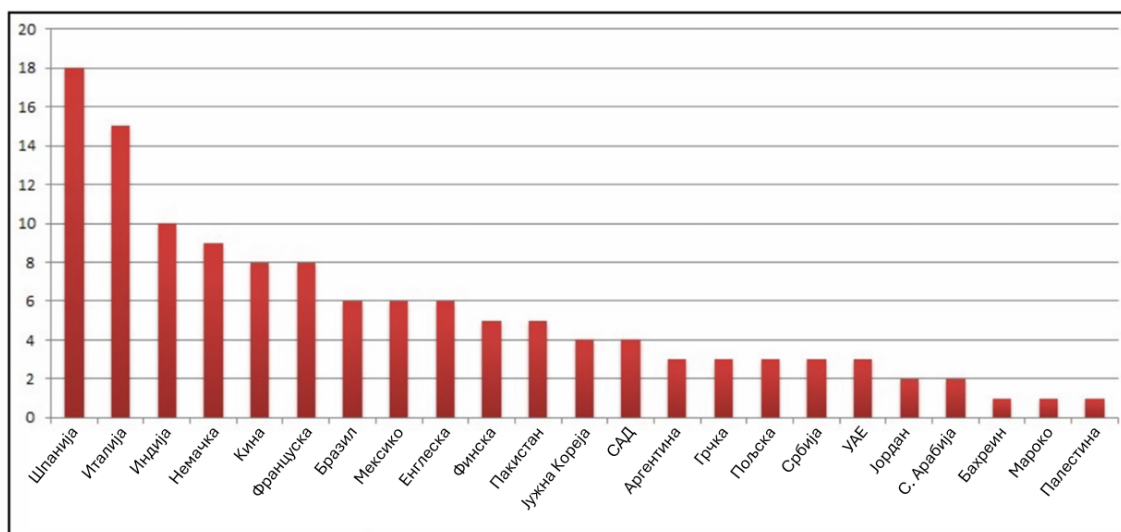
Табела 18: Назив часописа и број објављених радова за анализиране радове, прилагођено према (Janković и сарадници, 2024)

Р.б.	Назив часописа	Број радова (у процентима)
1	<i>International Journal of Computer Integrated Manufacturing</i>	3 (10,71 [%])
2	<i>IEEE Access</i>	3 (10,71 [%])
3	<i>Sustainability</i>	3 (10,71 [%])
4	<i>Applied Sciences</i>	2 (7,14 [%])
5	<i>Machines</i>	2 (7,14 [%])
6	Остало (један рад по часопису)	15 (53,57 [%])
Укупно		28 (100 [%])

Следећа анализа била је анализа кључних речи аутора (енгл. *Author Keywords*). За потребе анализе коришћене су кључне речи, а не индексне кључне речи (енгл. *Index Keywords*) из разлога што оне нису биле наведене за све радове, па анализа не би била потпуна. У одабраним радовима је укупно било 170 кључних речи, док је, уклањањем дупликата, сведено на 136 кључних речи. Највише заступљена кључна реч је *KPI*, са 12 понављања. Са пет понављања су кључне речи „дигитална трансформација” и „Индустрија 4.0”, док „производња” и „мерење учинка” имају три понављања. Кључне речи попут „аналитика”, „велики подаци”, „дигитализација”, „оквир”, „Интернет „интелигентних“ уређаја”, „продуктивност”,

„систем производа и услуге”, „споразум о нивоу услуге”, „управљање ланцем снабдевања”, „мапирање тока вредности” и „виртуелна стварност” имали су два понављања, док се 120 кључних речи појавило само једном.

Анализа земаља порекла аутора (укупно 126), приказана на Слици 30., указује на значајне доприносе из различитих држава. Најзаступљенији су аутори из Шпаније (18), Италије (15) и Индије (10), који заједно чине приближно 34 [%] укупног броја аутора.



Слика 30: Приказ земаља порекла аутора (Јанковић и сарадници, 2025)

Анализа профила аутора радова је показала да су аутори 23 рада (око 82 [%]) били искључиво из академских институција. Преосталих пет радова (око 18 [%]) представљало је заједнички рад сарадника из академске заједнице и праксе, док није било чланака које су написали само стручњаци из праксе.

Од укупно 28 радова, за пет радова није био омогућен приступ, нити су могли да буду преузети, па је узорак смањен на 23 рада, која су даље детаљно анализирани, што је приказано у наредном потпоглављу.

7.5.3. Резултати и дискусија

Након читања радова у целости, шест од 23 рада није имало податке у вези са темом истраживања, због чега су ти радови искључени из даље анализе и преостало је

17 радова за детаљну анализу. Међутим, анализом делатности у којој послује предузеће, у седам од 17 радова делатност није била производна, због чега је тих седам радова искључено из даље анализе. Преосталих 10 радова је одабрано за детаљну анализу и њихов списак је приказан у Табели 19.

Табела 19: Списак одабраних и анализираних научних и истраживачких радова на тему примене кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације (DTKPI) у производним предузећима, прилагођено према (Janković и сарадници, 2024)

Р.б.	Аутори	Година издања	Назив рада	Назив часописа	Референца
1	Aiello, G., Benítez, J., Carpitella, S., Certa, A., Enea, M., Izquierdo, J., La Cascia, M.	2020	"A decision support system to assure high-performance maintenance service"	<i>Journal of Quality in Maintenance Engineering</i>	Aiello и сарадници, 2020
2	Demko-Rihter, J., Sassanelli, C., Pantelic, M., Anišić, Z.	2023	"A framework to assess manufacturers' circular economy readiness level in developing countries: an application case in a Serbian packaging company"	<i>Sustainability</i>	Demko-Rihter и сарадници, 2023
3	Ferrer, B. R., Muhammad, U., Mohammed, W. M., Lastra, J. L. M.	2018	"Implementing and visualizing ISO 22400 Key Performance Indicators for monitoring Discrete Manufacturing Systems"	<i>Machines</i>	Ramis Ferrer и сарадници, 2018
4	Fortoul-Diaz, J. A., Carrillo-Martinez, L. A., Centeno-Téllez, A., Cortés-Santacruz, F., Olmos-Pineda, I., Quintero, R. R. F.	2023	"A smart factory architecture based on industry 4.0 technologies: Open-Source software implementation"	<i>IEEE Access</i>	Fortoul-Diaz и сарадници, 2023
5	Joo, Y., Oh, S. H., Cho, M., Kim, S.	2022	"Manufacturing information-based energy usage simulation for energy-intensive steel casting process"	<i>Journal of Cleaner Production</i>	Joo и сарадници, 2022
6	Kanan, M., Dilshad, A. R., Zahoor, S., Hussain, A., Habib, M. S., Mehmood, A., Abusaq, Z., Hamdan, A., Asad, J.	2023	"An Empirical study of the implementation of an Integrated Ergo-Green-Lean Framework: a case study"	<i>Sustainability</i>	Kanan и сарадници, 2023

7	Ng Corrales, L. D. C., Lambán, M. P., Morella, P., Royo, J., Sánchez, J. C., Korner, M. E. H.	2022	"Developing and implementing a lean performance indicator: overall process effectiveness to measure the effectiveness in an operation process"	Machines	Ng Corrales и сарадници, 2022
8	Salwin, M., Pszczółkowska, K., Pałęga, M., Krasławski, A.	2023	"Value-Stream mapping as a tool to improve production and energy consumption: A case study of a manufacturer of industrial hand tools"	Energies	Salwin и сарадници, 2023
9	Verhaelen, B., Mayer, F., Peukert, S., Lanza, G.	2021	"A comprehensive KPI network for the performance measurement and management in global production networks"	Production Engineering	Verhaelen и сарадници, 2021
10	Watanabe, E. H., Da Silva, R. M., Blos, M. F., Junqueira, F., Filho, D. J. D. S.	2018	"Framework to evaluate the performance and sustainability of a disperse productive system"	Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering	Watanabe и сарадници, 2018

Детаљном анализом радова из производе делатности, издвојени су подаци приказани у Табели 20.: сажето појашњење поља примене наведених *KPI* у посматраној делатности, набрајање конкретних *DTKPI* наведених у раду, спецификација исхода који произилазе из имплементације и мерења идентификованих *KPI*, односно резултати примене, као и навођење конкретних технологија које су примењене. Ови *KPI* се користе за мерење унапређења управљања производњом применом технологија Индустрије 4.0, као и дигитализације и аутоматизације, односно дигиталне трансформације. Неки од наведених *KPI* се већ користе и мере у пракси, па је важно нагласити да се, у Табели 20., ови *KPI* посматрају кроз призму примене ових технологија и концепта. У контексту ових радова, њихова примена је усмерена ка мерењу ефеката дигиталне трансформације на унапређење управљања производњом.

Табела 20: Кључни индикатори перформанси дигиталне трансформације (*DTKPI*) у управљању производњом, прилагођено према (Janković и сарадници, 2024)

Р.б.	Референца	Примена	<i>DTKPI</i>	Резултати примене и примењене технологије
1	<i>Aiello</i> и сарадници, 2020	Помоћ руководиоцима у доношењу одлука за унапређење превентивног одржавања и оптимизацију производње;	Проценат ефикасности компоненти; Стопа поузданости опреме; Број интервенција; Број укључивања аларма;	Безбедно управљање одржавањем применом технологије <i>Blockchain</i> ;
2	<i>Demko-Rihter</i> и сарадници, 2023	Унапређење могућности поновне употребе материјала; Смањење губитака у материјалу; Повећање удела рециклираних материјала у новим производима;	Проценат губитака у материјалу у производњи; Проценат рециклаже отпада;	Унапређења у управљању материјалима путем аутоматизације процеса производње, применом технологије Интернет „интелигентних” уређаја (сензора) и Сајбер-физички системи;
3	<i>Ramis Ferrer</i> и сарадници, 2018	Одабир и имплементација скупа <i>KPI</i> према стандарду <i>ISO 22400</i> ;	Проценат алоцираних ресурса; Проценат искоришћених ресурса; Однос квалитета производа пре и након дигитализације; Проценат отпада у производњи пре и након дигитализације;	Унапређене перформансе праћења и управљања производним активностима и планирањем и алокацијом ресурса, након дигитализације производне линије и примене технологија Интернет „интелигентних” ствари, Сајбер-физички системи и Роботи;
4	<i>Fortoul-Diaz</i> и сарадници, 2023	Унапређење обављања активности који се понављају;	Проценат испорука реализованих на време; Просечно време завршетка (одређене) активности; Просечно време трајања (одређене) активности;	Остварена је испорука производа на време, унапређено управљање производњом, време реализације активности је смањено за 50 [%] применом технологија Сајбер-физички системи, Вештачка интелигенција, Рачунарства у „облаку”, Анализе података и Сајбер безбедности;
5	<i>Joо</i> и сарадници, 2022	Унапређење ефикасности енергетски интензивних метода производње за постизање угљеничне неутралности;	Просечна потрошња енергије за специфичне потребе у производњи; Укупна остварена производња; Просечна температура изливања материјала;	Смањење губитака у раду без промене квалитета производа или постојећих ресурса, као и смањење потрошње електричне енергије за 12,6 [%], на основу праћења података у реалном времену применом технологије Рачунарства у „облаку“;

6	<i>Kanan</i> и сарадници, 2023	Унапређење уређења радног места; Смањење емисије гасова угљеника у производњи (декарбонизација); Скраћење времена циклуса производње;	Просечна оцена задовољства радника послом; Просечна количина емисије гасова угљеника услед расипања материјала; Просечно време циклуса производње; Просечно време реализације производње;	Унапређења у уређењу радног места смањила су стрес запослених, просечна количина емисије гасова угљеника смањена је за 19,2 [%] и смањено је просечно време трајања циклуса производње за 15,5 [%], а резултати су анализирани применом технологије Анализе података;
7	<i>NG Corrales</i> и сарадници, 2022	Повећање укупне ефикасности активности за подршку производњи;	Проценат достављеног материјала на време; Проценат производа са задовољавајућим квалитетом; Просечно одступање од планиране димензије производа;	Унапређен је начин прикупљања података, као и контроле квалитета и димензија производа применом технологије Рачунарство у „облаку“;
8	<i>Salwin</i> и сарадници, 2023	Минимизирање жалби купаца; Оптимизација оперативне ефикасности и квалитета производа;	Број задатака по запосленом; Број произведених јединица производа по сату; Проценат жалби корисника; Проценат отпада у производњи;	Учинак запослених и производни уинак су повећани за око 10 [%], док је ниво отпада пластике смањен за 47 [%], као и челика за 22,6 [%] применом технологија Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачке интелигенције и Дигиталних близанаца;
9	<i>Verhaelen</i> и сарадници, 2021	Дефинисање индикатора трошкова, флексибилности, иновација и мреже снабдевања;	Проценат искоришћене количине материјала; Проценат остварене испоруке на време; Просечно време производње по јединици производа; Просечна величина серије;	Унапређење перформанси ланца снабдевања (приступ новим купцима и тржиштима), као и ефикасности, квалитета и флексибилности производње, применом технологија Великих података и Анализе података;
10	<i>Watanabe</i> и сарадници, 2018	Дефинисање индикатора перформанси за одрживост у дисперзованим производним системима;	Количина испуштених отпадних вода; Проценат поновно употребљених материјала за паковање; Просечни трошкови утрошене енергије у производњи; Проценат незгода на раду;	Повећан степен одрживости производње применом технологије Интернет „интелигентних” уређаја и сензора;

У анализираним радовима, истакнута је значајност примене *DTKPI* у унапређењу управљања производњом насталих применом дигиталних стратегија за оптимизацију производних процеса. На основу претходно приказаног, могуће је одговорити на истраживачка питања дефинисана у овом истраживању.

ИП1: Шта су *DTKPI*?

Одговор: *DTKPI* су индикатори перформанси које се користе за процену различитих аспеката перформанси предузећа у дигиталној ери, пружајући квантитативне увиде у дигиталне активности предузећа и оперативне ефикасности и одрживости (Engel и сарадници, 2022; Јоо и сарадници, 2022). Ови *KPI* су квантитативни индикатори који се рачунају на основу података прикупљених у реалном времену, а неопходни су за процену и оптимизацију перформанси предузећа на различитим организационим нивоима, у контексту дигитализације и као резултат примене технологија Индустрије 4.0 (Ramis Ferrer и сарадници, 2018). *DTKPI* су индикатори перформанси који се користе за процену напретка и успеха напора предузећа да прилагоде, иновирају и примене технологије Индустрије 4.0 у својим операцијама, процесима и стратегијама (Sanchez-Gonzalez и сарадници, 2022). Имају кључну улогу у ефикасном унапређењу пословања и имплементацији иновација применом дигиталних технологија у предузећима из различитих сектора. *DTKPI* се фокусирају на оптимизацију оперативне ефикасности и квалитета производа, омогућавајући предузећима да идентификују области за унапређење, оптимизују процесе и испоруче купцима производе и услуге доброг квалитета (Fortoul-Diaz и сарадници, 2023; Sarabia-Jácome и сарадници, 2020). Поред тога, развојем система евалуације који обухватају перспективе финансија, логистике и унапређења процеса, предузећа могу да процене утицај дигиталне трансформације на пословање, усмеравајући стратешко доношење одлука и обезбеђујући усклађеност са општим пословним циљевима (Xiao-Ping и сарадници, 2021).

У оквиру специфичних индустрија, *DTKPI* се стратешки користе у различите сврхе, попут минимизирања процента жалби купаца, оптимизације оперативних ефикасности и унапређења квалитета производа (Ng Corrales и сарадници, 2022; Salwin и сарадници, 2023). Праћењем *DTKPI* који се односе на минимизирање процента жалби купаца, предузећа могу да процене ефикасност својих дигиталних

иницијатива у задовољавању потреба купаца и брзини решавања проблема, што доводи до већег задовољства и лојалности купаца (Salwin и сарадници, 2023). Аутори у раду (Mahboub и сарадници, 2023) дефинисали су две категорије *DTKPI*: генерални *DTKPI* (мултидисциплинарни који могу да се примене у било којој индустрији) и специфични *DTKPI* (који су специфични за одређену индустрију или за неке одређене гране индустрије).

ИП2: Да ли се *DTKPI* мере у производним предузећима?

Одговор: Аутори у (Miqueo и сарадници, 2020) наводе да се у производним предузећима најчешће мере следећи *DTKPI*: укупна ефикасност опреме (*OEE*), квалитет производа, ефикасност производње, време застоја и друге индикаторе за процену успеха примене дигиталних технологија, док су резултати примене *DTKPI* приказани кроз многострука унапређења, попут: унапређење перформанси праћења и планирања ресурса у производњи (Ramis Ferrer и сарадници, 2018), смањење губитака у производњи готових производа и у потрошњи електричне енергије (Joо и сарадници, 2022), смањење емисије неметала, као и времена трајања циклуса производње (Kanan и сарадници, 2023), унапређење приступа новим купцима и тржиштима, као и ефикасност, флексибилност и квалитет производа (Verhaelen и сарадници, 2021), унапређење оперативног рада и доношење одлука у реалном времену (Marzialia и сарадници, 2022), унапређење безбедног управљања одржавањем (Aiello и сарадници, 2020), унапређење перформанси и дизајна делова производа (Lange и сарадници, 2021), оствареност испоруке на време и скраћење времена реализације производње (Fortoul-Diaz и сарадници, 2023), повећање учинка запослених и смањење количине отпада (Salwin и сарадници, 2023), унапређење прикупљања и управљања подацима, као и оптимизација планирања распореда операција (NG Corrales и сарадници, 2022), оптимизација процеса и смањење ризика у производњи (Sanchez-Gonzalez и сарадници, 2022), повећање ефикасности, тачности и безбедности информација (Xiao-Ping и сарадници, 2021), унапређење планирања операција, доношења одлука и координација активности (Sarabia-Jácome и сарадници, 2020).

На основу одговора на претходно истраживачко питање (ИП1), резултата произашлих из анализе литературе, као и приказа многоструких унапређења постигнутих мерењем *DTKPI*, може се закључити да се *DTKPI* мере у производним предузећима. Такође, из резултата приказаних у Табели 20., може се извести закључак да се *DTKPI* користе за унапређено мерење перформанси у управљању производњом применом технологија Индустрије 4.0. *DTKPI* представљају важан део савремених стратегија пословања и управљања производњом, јер омогућавају предузећима да квантитативно и у реалном времену анализирају утицај који технологије Индустрије 4.0, дигитализација и аутоматизација, односно дигитална трансформација, имају на њихово пословање. Такође, примена *DTKPI* у производним предузећима пружа добру основу за доношење правовремених стратешких одлука, на основу којих се спроводе технолошке и организационе промене, које воде ка унапређењу ефикасности, продуктивности и конкурентности пословања.

С обзиром да се *DTKPI* користе са циљем мерења промена и праћења унапређења у управљању производњом, насталих применом технологија Индустрије 4.0, у докторској дисертацији, у поглављу десет, биће приказан модел *DTKPI*, као скуп *KPI* који може да се примени за те потребе.

На основу приказаних резултата спроведеног истраживања стручне и научне литературе о примени *DTKPI* у производним предузећима, **потврђена** је хипотеза истраживања, *X(2.2): Кључни индикатори перформанси дигиталне трансформације могу се применити у управљању производњом са циљем мерења промена и праћења унапређења насталих применом технологија Индустрије 4.0, односно дигиталном трансформацијом.*

8. ИСТРАЖИВАЊЕ О ПРИМЕНИ ОДАБРАНИХ ТЕХНОЛОГИЈА ИНДУСТРИЈЕ 4.0 У ПРОИЗВОДНИМ ПРЕДУЗЕЋИМА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

У овом поглављу приказани су примери примене технологија Индустије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији (потпоглавље 8.1), методологија истраживања које је спроведено на одабраном скупу производних предузећа у Републици Србији (потпоглавље 8.2), како би се испитао ниво информисаности, примене и спремности за имплементацију технологија Индустије 4.0 које су одабране као најчешће примењене технологије у производним предузећима. Технологије које су одабране, на основу прегледа литературе приказаном у поглављу пет, су: Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција у Велики подаци (потпоглавље 5.4, ИПЗ).

Како би се успешно утицало на примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима, важно је одредити кључне детерминанте које утичу на њихово усвајање. Међутим, поставља се питање: *Које детерминанте утичу на усвајање ових технологија у производним предузећима?* Технологије Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци су одабране технологије за које је примењен проширени *UTAUT* модел за испитивање детерминанти за намеру прихватања и примене, који је приказан у потпоглављу 8.3.2. *UTAUT* модел је проширен додавањем одређеног броја детерминанти које прецизније квантификују усвајање технологије. Приказ дела поставке проблема истраживања, истраживање, резултати истраживања и анализа и дискусија резултата приказани у овом поглављу публиковани су у раду (Rajković и сарадници, 2025a).

8.1. Примена технологија Индустије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији

Према Међународном монетарном фонду (International Monetary Fund, 2023), Република Србија једна је од земаља у развоју, док је од стране Светске банке класификована као земља са нижим средњим приходима (The World Bank, н.д.). Главне карактеристике земаља у развоју су слаба комерцијална и индустријска

база, низак бруто национални доходак по глави становника, лоша инфраструктура, низак животни стандард (Roztockí & Weistroffer, 2011), већа распрострањеност сиромаштва него у развијеним земљама, као и ограничен приступ основним услугама (Hossain и сарадници, 2023).

Република Србија, као земља у развоју, споро усваја и имплементира технологије Индустрије 4.0 (Palčić и сарадници, 2022). Институционални вакуум, слабо развијена инфраструктура и проблеми у вези са недостатком ресурса представљају главне препреке дигиталној трансформацији у земљама после транзиције (World Bank Group, 2022; Zhang и сарадници, 2023). Индустријски развој у Републици Србији утиче на пораст животног стандарда и економски напредак државе, као и на конкурентност на тржишту (Đaković, 2024). Центар за дигиталну трансформацију при Привредној комори Србије одговоран је за дигиталну трансформацију привреде у Републици Србији, као и за подршку предузећима. До сада су спроведена три програма за унапређење пословања предузећа у Републици Србији путем дигиталних средстава. Први је „Програм подршке дигиталној трансформацији МСП 2019/2020” (Привредна комора Србије, 2019), а два програма су усмерена на ублажавање последица изазваних пандемијом Covid-19, *SPEED 1.0* и *SPEED 2.0* (Привредна комора Србије, 2020). Један од развојних циљева Републике Србије је унапређење конкурентског потенцијала спровођењем реформи који утичу на развој потенцијала индустрије, већа улагања и бржег развоја домаћег и приватног сектора (Јакорин & Вајес, 2009). Дигитална трансформација у Републици Србији има велики значај за стварање услова за убрзани економски развој (Стефановић и сарадници, 2021). Министарство привреде Републике Србије развило је нови стратешки оквир усмерен ка повећању конкурентности индустријског сектора Републике Србије и јачању позиције на међународном тржишту (Đaković, 2024). То захтева промену политике пословања индустријског сектора која ће омогућити конкурентску предност са нижим ценама и трошковима за стандардне производе (Đuričin & Vuksanović Herceg, 2018).

Према резултатима представљеним у раду Gligoriјевић и сарадници (2020), у Републици Србији доминантни су индустријски сектори са ниским технолошким развојем. Тренутни статус развоја дигитализације и аутоматизације у Републици Србији је на ниском нивоу, где скоро свако треће производно предузеће није

имплементирало ни једну дигиталну технологију (Palčić и сарадници, 2022). У току континуираног развоја дигитализације и аутоматизације у производном сектору у Републици Србији, појавили су се многи изазови, попут неадекватне организационе структуре предузећа и спорог раста извоза (Ćorović и сарадници, 2019). Главни изазов је свест доносиоца одлука да се то може постићи само куповином и инсталирањем софтвера (Rejman Petrović и сарадници, 2024), као и спорим увођењем савремених технологија (Trajković & Mihajlović, 2021). Имплементацијом технологија Индустрије 4.0, које омогућавају потпуну дигитализацију производње, постоји могућност за унапређење економског и извозног раста Републике Србије и стварање нових радних места (Prokorović и сарадници, 2020). Међутим, последњих година, Република Србија је постигла значајан напредак на нивоу дигитализације, јер је Влада препознала њен значај и усвојила Дигиталну агенду за јачање дигиталне економије земље (Rajković и сарадници, 2024).

На основу податка преузетих са (Министарство привреде Републике Србије, 2024), у односу на просек улагања предузећа ван границе Републике Србије, национална предузећа улажу пет пута мање новца у имплементацију информационо-комуникационих технологија, што представља проблем, јер је за више од 50 [%] предузећа у Републици Србији, дигитална трансформација предуслов за опстанак на тржишту (Стефановић и сарадници, 2021). Резултати последњег доступног извештаја Завода за статистику Републике Србије о примени информационо-комуникационих технологија у Републици Србији за 2023. годину (Завод за статистику Републике Србије, 2023) показују да 100 [%] предузећа има Интернет везу, петина предузећа (20 [%]) запошљава стручњаке за информационо-комуникационе технологије и користи софтвер за планирање ресурса предузећа (*ERP*), 10,7 [%] предузећа користи софтвер за управљање односима са клијентима (енгл. *Customer Relationship Management - CRM*), док 5,1 [%] предузећа користи софтвер за пословну интелигенцију (енгл. *Business Intelligence - BI*). Технологију рачунарства у „облаку” користи 37 [%] предузећа.

На основу резултата истраживања, које је обухватило 98 предузећа из области производње, у Републици Србији, представљених у (Kahrović & Avdović, 2023), о степену прихватања и имплементације дигиталних технологија, највећи проценат

испитаника изјаснио се да је, у циљу дигитализације, највише користио мобилне технологије (мобилне уређаје и лаптопове) и технологију Рачунарство у „облаку”. У истом истраживању је мање од 20 [%] испитаника увидело значај технологија Интернет „интелигентних” уређаја, Великих података и аналитике, док технологије Роботи и Вештачка интелигенција постају све више примењиве и препознатљиве као кључне за пословање. У раду (Milošević, 2022) приказани су резултати истраживања где је истакнуто да позитиван став предузећа према савременим технологија има позитиван утицај на намеру за примену технологија, као и да је познавање и информисаност о технологијама Индустрије 4.0 важан услов за позитиван став у вези њихове примене у МСП у Републици Србији. Имплементација технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији је у највећој мери спроведена у великим предузећима (Marjanović и сарадници, 2017). Забележена унапређења су повећање ефикасности електронске трговине за преко 80 [%] (Rejman Petrović и сарадници, 2022), развој сложених производа, јединствена производња по захтеву, као и унапређена комуникација са купцима (Medić и сарадници, 2017).

Међутим, у последњих неколико година забележен је велики напредак у домену увођења дигитализације у Републици Србији. Усвојена је Дигитална агенда за унапређење дигиталне економије од стране Владе Републике Србије, којом се истичу „стратешки приоритети у електронским комуникацијама, е-здравству, е-трговини, е-правосуђу, е-управи, информационо-комуникационим технологијама у образовању, науци, култури и информационој безбедности” (Veselinović & Stanišić, 2021). Примена Интернета и информационо-комуникационих технологија омогућавају брже, једноставније и исплативије пословне трансакције (Rađenović и сарадници, 2023). Примери примене савремених технологија и Индустрије 4.0 у производним предузећима Републике Србије приказани у наставку овог поглавља публиковани су у раду (Rajković и сарадници, 2024):

- Применом технологија Интернет „интелигентних” уређаја и Вештачке интелигенције, интеграцијом дигитализације и иновација у производне линије, као и аутоматизацијом процеса, предузеће из области производње гума и пнеуматика, *Toyo Tires*, Јапан, у фабрици у Републици Србији применило је принципе „паметне” фабрике. Резултат примене је доношење одлука заснованог

на подацима у реалном времену, као и трансформација производних процеса и повећање ефикасности (Shi и сарадници, 2020). Такође, креирали су и виртуелно окружење *T-mode* у циљу унапређења перформанси и оптимизације дизајна гума, за симулацију и виртуелно тестирање гума у различитим условима вожње, попут буке у вожњи, неравномерног трошења газећег слоја и друго (ТоуоТирес, 2022);

- „Нафтна индустрија Србије” („НИС”) примењује интеграцију технологија Интернет „интелигентних” уређаја, технологија Великих података, Машинског учења и Вештачке интелигенције, за предиктивно одржавање машина и алата, односно предвиђање застоја и кварова који могу да се отклоне пре него што настану или за кратко време. Тиме се продужава време рада, као и животни век машина и алата, скраћује време застоја или сервиса, смањује количина квалитативно неусаглашених производа и друго. На тај начин, ово предузеће је продужило животни век машина, алата и резервних делова и повећало поузданост производње, смањило укупне трошкове одржавања, повећало обим производње и смањило количине залиха (Спаг и сарадници, 2020). Повећало је доступност опреме за 0,6 [%], ниво безбедности оперативних послова рафинерије, пословну ефикасност, као и конкурентску предност предузећа, а смањило оперативне трошкове, као и проценат застоја изазваних неисправним лежајевима са 34 [%] на 15 [%] (НИС, 2023);
- Предузеће *Elixir Group* је креирало Дигиталног близанца једне од производних линија, чијом имплементацијом је постигло оптимизовану и прецизну симулацију рада ове линије (Qi и сарадници, 2019), омогућавајући приступ производној линији путем Интернета, праћење статуса задатака у реалном времену, као и поједностављено дефинисање инструкција (Solfins, 2023);
- У циљу дигитализације производних процеса, произвођач гума *Tigar Tyres* користи софтвер за потребе дигиталног управљања документацијом у процесу производње, као и за одржавање машина и алата (Solfins, 2023);
- Предузеће *Delta Holding* развило је пројекат „Дигитално село” у Мокрину, са циљем да пољопривредници у руралним заједницама улажу у дигиталне технологије за унапређење производње и постојеће инфраструктуре у руралним подручјима, чиме би повећали приходе радника у пољопривреди и омогућили ефикаснију, одрживу и бржу производњу у пољопривредном сектору, тежећи ка дигиталној трансформацији (Delta Holding, 2023).

На основу приказаних примера из праксе, може се закључити да постоје производна предузећа у Републици Србији која примењују технологије Индустрије 4.0, тежећи ка повећању степена дигитализације и аутоматизације свог пословања.

8.2. Методологија истраживања

У сврху прикупљања података, примењен је истраживачки упитник. Истраживање је спроведено помоћу анонимне истраживачке методе - анкете, применом *Online* алата *Google Forms*. Период спровођења анкете је август-новембар 2024. године. Анкета је спроведена на српском језику, како би испитаници јасно разумели питања, што доприноси већој поузданост резултата. Линк ка анкети је дистрибуиран путем друштвене мреже *LinkedIn*, као и достављен на пословне мејл адресе контакт особа из одабраних предузећа. Величина узорка истраживања је 330 испитаника, односно предузећа, с обзиром да је контактирана једна особа по предузећу. Као ограничење је постављено да са једне мејл адресе упитник може само једном попунити, како би се омогућила боља контрола приступа, као и аутентичност података. Испитаници су запослени искључиво у производним предузећима у Републици Србији и бирани су тако да, на основу својих улога и позиција, знањем и искуством, могу дати прецизне и релевантне одговоре на упитник. Додатно, ови испитаници могу се сматрати кључним информаторима, јер могу пружити висококвалитетне и технички прецизне информације у вези технологија које користе или планирају да користе у свакодневном раду у производном предузећу у којем су запослени (Hughes & Preski, 1997; Marshall, 1996).

Анкета се састоји од четири сегмента: први сегмент - основне информације о испитанику, други сегмент - основне информације о предузећу, трећи сегмент - заступљеност и тренутно мишљење о примени технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији, четврти сегмент - детерминанте који утичу на примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији. Анкета је, у целости, приказана у Прилогу докторске дисертације (Прилог 1). Одговори на питања из првог и другог сегмента су у форми допуњавања или бирања неких од понуђених одговора, док су одговори на питања у трећем и четвртном сегменту дата у форми Ликертове скале од пет тачака. Ликертова скала представља методу за мерење ставова (Batterton & Hale, 2017),

којом се мери ниво слагања испитаника са тврдњама на скали и која може „квантификовати субјективно-преференцијално размишљање, осећања и деловање на проверен и поуздан начин” (Joshi и сарадници, 2015). Подаци о методологији истраживања представљени су у Табели 21.

Табела 21: Подаци о методологији истраживања докторске дисертације, прилагођено према (Ракићевић, 2018)

Р.б.	Методологија истраживања	Опис
1	Узорак	Производна предузећа, Република Србија
2	Период спровођења истраживања	Август-новембар 2024. године
3	Испитаници	Запослена лица у производним предузећима (ограничење: један запослени по предузећу)
4	Величина узорка	330
5	Метода истраживања	Анкета (<i>Online</i> алат <i>Google Forms</i>)
6	Структура анкете	Четири сегмента: основне информације о испитанику; основне информације о предузећу; заступљеност и ставови о примени технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији; детерминанте који утичу на примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији;
7	Начин дистрибуције анкете	Друштвена мрежа <i>LinkedIn</i> и пословне мејл адресе

8.3. Резултати истраживања

У овом потпоглављу представљени су резултати истраживања спроведеног у производним предузећима у Републици Србији, дескриптивна статистика и анализа узорка (потпоглавље 8.3.1.). Проширени *UTAUT* модел и припадајуће детерминанте приказане су у потпоглављу 8.3.2, док је у потпоглављу 8.3.3. приказана дискусија резултата. Изведени су закључци и препоруке за имплементацију сваке од посматраних технологија, као и дат одговор на главно истраживачко питање је: ***Које детерминанте утичу на усвајање и примену технологије (Интернет „интелигентних” уређаја, Веиштакка интелигенција и Велики подаци) у производним предузећима у Републици Србији?***

Укупно 228 од 330 испитаника, односно предузећа, учествовало је у анонимној *Online* анкети, што представља стопу одзива од 69,09 [%]. Ово се може сматрати високом стопом одзива, будући да је „просечна стопа одзива на *Online* анкету

44,1 [%]” (Wu и сарадници, 2022). Постоје и други објављени радови и истраживања на тему примене технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима на глобалном нивоу, али са знатно мањим бројем производних предузећа обухваћених истраживањем, попут: 100 производних предузећа и научно-истраживачких института у Пољској (Woźniak и сарадници, 2021), 103 производна предузећа у Италији (Zheng и сарадници, 2019), 219 производних предузећа из аутомобилске и сродних индустрија у Јужној Африци (Bag и сарадници, 2021) и други.

8.3.1. Дескриптивна статистика и дискусија резултата

У овом потпоглављу приказана је дескриптивна статистика истраживања, као и дискусија добијених резултата. Као што је наведено, питања у анкети су подељена у четири сегмента. Први сегмент питања односи се на основне социо-демографске и ситуационе карактеристике о испитанику. Други сегмент питања односи се на карактеристике производних предузећа у коме је анкетирани запослен. Трећи сегмент питања односи се на заступљеност и лична мишљења и тренутна знања у вези технологија Индустрије 4.0 која се користе за дигитализацију и аутоматизацију пословања. Четврти сегмент питања односи се на детерминанте *UTAUT* модела које утичу на примену одабраних технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији. Резултати анкете, као и дискусија резултата, биће у наставку рада приказани овим редоследом.

8.3.1.1. Први сегмент – основне социо-демографске и ситуационе карактеристике о испитанику

Резултати који се односе на основне социо-демографске и ситуационе карактеристике у вези испитаника приказани су у Табели 22. За сваку карактеристику наведене су вредности категорије, број одговора и процентуално учешће у узорку, док су за неке наведени опсег, средња вредност (енгл. *Mean*) и стандардна девијација (енгл. *Standard Deviation - Std.*).

Табела 22: Основне социо-демографске и ситуационе карактеристике о испитаницима (Rajković и сарадници, 2025а)

Р.б.	Карактеристика	Вредност	Број одговора	Учешће у узорку (у процентима)
1	Пол	Мушко	137	60,09 [%]
		Женско	91	39,91 [%]
2	Године старости	Опсег – од 21 до 70 година, ср. вредност – 38,36 година, станд. девијација – 10,57		
3	Године рада у производном сектору	Опсег – од 1 до 40 година, ср. вредност – 10,83 година, станд. девијација – 8,89		
4	Број година радног стажа у посматраном предузећу	Опсег – од 0 до 40 година, ср. вредност - 7,5 година, станд. девијација – 7,51		
5	Највиши завршени степен образовања	Средња школа или гимназија	34	14,91 [%]
		Виша школа или основне трогодишње академске/струковне студије	32	14,04 [%]
		Основне четворогодишње академске студије	63	27,63 [%]
		Магистарске/мастер или специјалистичке академске студије	96	42,11 [%]
		Докторске академске студије	3	1,32 [%]
6	Одељење запосленог	Производња	121	53,07 [%]
		Остало	34	14,91 [%]
		Логистика	20	8,77 [%]
		Развој производа и услуга	15	6,58 [%]
		Финансије и рачуноводство	14	6,14 [%]
		Продаја	10	4,39 [%]
		Набавка	8	3,51 [%]
		Маркетинг	6	2,63 [%]

Што се тиче пола, примећује се блага родна диспропорција, у корист мушкараца (60,09 [%]). Ово није перципирано као проблем, јер је у Републици Србији запослено више мушкараца него жена (Завод за статистику Републике Србије, 2024).

Иако је распон година висок (49 година), већина испитаника је средњих година (просечна старост испитаника је 38,36 година), што указује на одређени ниво радног искуства.

Резултат у вези са распоном (40 година) и просечним бројем година колико испитаници раде у производном сектору (10,83 година) додатно потврђује да су испитаници искусни радници у производном сектору.

Сличан распон важи и за питање у вези броја година радног стажа у посматраном предузећу, где су вредности у распону од 0 до 40 година (што указује на то да су испитаници са највећим бројем година искуства остали у истом предузећу од почетка своје професионалне каријере), а 7,5 година је просечан број година радног стажа у тренутном предузећу.

Што се тиче питања о највишем завршеном степену образовања, највећи проценат испитаника има завршене постдипломске студије (42,11 [%]), што указује да узорак обухвата високообразоване и компетентне запослене у производном сектору.

Већина испитаника ради у одељењима Производња (53,07 [%]), Логистика (8,77 [%]) и Развој производа и услуга (6,58 [%]). Такође, раде и у другим одељењима, где се издваја одељење Контроле квалитета (7,02 [%]), док је за остала одељења учешће испитаника у знатно нижем проценту. Ови резултати потврђују да су испитаници они запослени чије је мишљење важно за прихватање и примену технологија у управљању производом, што је и била циљна група.

Посебно је важно истаћи податак да је чак осам извршних директора (3,51 [%]) попунило анкету. Они поседују практична и стручна знања, искуство у управљању и доношењу одлука, одговорни су за успех пословања и имају улогу централног покретача иновација и промена у предузећу (Robinson и Pearce, 1988).

8.3.1.2. Други сегмент – основне карактеристике предузећа

Резултати који се односе на основне карактеристике производног предузећа у коме је анкетирани запослен, приказани су у Табели 23. За сваку карактеристику наведене су вредности, број одговора и процентуално учешће у узорку.

Табела 23: Основне карактеристике производног предузећа у коме је анкетирани запослен

Р.б.	Карактеристика	Вредност	Број одговора	Учешће у узорку (у процентима)
1	Локација предузећа (град)	Београд	52	22,81 [%]
		Аранђеловац	23	10,09 [%]
		Нови Сад	12	5,26 [%]
		Суботица	10	4,39 [%]
		Ниш	9	3,95 [%]
		Шабац	7	3,07 [%]
		Остали градови (укупно 115)	≤6	50,43 [%]
2	Опсег броја година колико предузеће послује (у Републици Србији)	0-5	20	8,77 [%]
		6-10	25	10,96 [%]
		11-15	38	16,67 [%]
		16-20	19	8,33 [%]
		21-30	45	19,74 [%]
		31-40	25	10,96 [%]
		41-50	10	4,39 [%]
		51 и више	46	20,18 [%]
3	Опсег броја запослених у предузећу (у Републици Србији)	0-10 (микро предузеће)	25	10,96 [%]
		11-50 (мало предузеће)	20	8,77 [%]
		51-250 (средње предузеће)	58	25,44 [%]
		250 и више (велико предузеће)	125	54,82 [%]
4	Тип власништва предузећа	Државно власништво	4	1,75 [%]
		Приватно власништво	218	95,61 [%]
		Комбиновано (државно и приватно власништво)	6	2,63 [%]
5	Делатност прерађивачке индустрије коме предузеће припада (у Републици Србији)	10 Производња прехранбених производа	48	21,05 [%]
		11 Производња пића	35	15,35 [%]
		32 Остале прерађивачке делатности	35	15,35 [%]
		25 Производња металних производа, осим машина и уређаја	33	14,47 [%]
		22 Производња производа од гуме и пластике	15	6,58 [%]
		20 Производња хемикалија и хемијских производа	12	5,26 [%]
		28 Производња непоменутих машина и непоменуте опреме	11	4,82 [%]
		27 Производња електричне опреме	11	4,82 [%]
		Остало	28	12,3 [%]
6	Тржиште на које предузеће пласира производе*	Локално тржиште	74	32,46 [%]
		Регионално тржиште	94	41,23 [%]
		Национално тржиште	72	31,58 [%]

		Међународно (светско) тржиште	157	68,86 [%]
7	Број различитих производа из асортимана предузећа	1-10	50	21,93 [%]
		11-20	30	13,16 [%]
		21-30	18	7,89 [%]
		31-40	11	4,82 [%]
		41-50	12	5,26 [%]
		51 и више	107	46,93 [%]
8	Доминантан тип производње предузећа	Појединачна производња	37	16,23 [%]
		Серијска производња	125	54,82 [%]
		Масовна производња	66	28,95 [%]

*питање са могућношћу више одговора

Предузећа чији су испитаници у највећем проценту учествовали у анкети налазе се у градовима: Београд (22,81 [%]), Аранђеловац (10,09 [%]), Нови Сад (5,26 [%]), Суботица (4,39 [%]), Ниш (3,95 [%]) и Шабац (3,07 [%]). С обзиром да су Београд, Нови Сад, Суботица и Ниш градови у Републици Србији у којима се налази највећи број производних предузећа, где се и даље бележи раст ових предузећа (Find Warehouse, 2025; Serbia Business, 2025), овај податак није изненађујући. Обухваћена су и предузећа из осталих градова Републике Србије, али у мањем броју, са шест и мање одговора: Александровац, Ариље, Бачка Паланка, Беочин, Бечеј, Бољевац, Брус, Врање, Врбас, Вршац, Горњи Милановац, Житиште, Зрењанин, Инђија, Јагодина, Кањижа, Ковачица, Ковин, Коцељева, Косјерић, Крагујевац, Краљево, Крушевац, Кула, Лесковац, Лозница, Лучани, Неготин, Нови Бечеј, Панчево, Параћин, Пећинци, Пирот, Пожаревац, Пожега, Прокупље, Рума, Сомбор, Смедерево, Стара Пазова, Сремска Митровица, Топола, Трстеник, Уб, Ужице, Ваљево, Врбас, Чачак, Чајетина, и Ћуприја.

Што се тиче броја година колико предузећа која су учествовала у анкети послују у Републици Србији, већина њих послује 21 годину или више (55,27 [%]), док најмањи број предузећа послује 41-50 година (4,39 [%]). Резултати анкете показују да су анкетом обухваћена предузећа са различитом дужином трајања пословања, као и потребним искуством у пословању.

Што се тиче броја запослених и величине предузећа, највише су учествовала велика предузећа, са више од 250 запослених (54,82 [%]), као и средња предузећа која имају између 51 и 250 запослених (25,44 [%]). Овај резултат показује да више од половине узорка чине велика предузећа. Велика предузећа имају већу потребу и спремност да

имплементирају и усвоје технологије у производњи (Cirillo и сарадници, 2023), склонија су усвајању иновација, нарочито у смислу имплементирања нове опреме и технологије (Bellas & Nentl, 2007; Gray & Mabey, 2006), што указује на то да намера за усвајање технологије расте са величином предузећа. Истраживање спроведено у Републици Србији показало је да велика предузећа остварују боље пословне резултате и перформансе (Krstić & Fedajev, 2020).

Што се тиче типа власништва предузећа, чак 95,61 [%] испитаника ради у предузећима која су у приватном власништву, 2,63 [%] у комбинованом (државно и приватно власништво), а свега 1,8 [%] у предузећима која су у државном власништву.

На основу Уредбе о класификацији делатности, према закону Републике Србије (Параграф, 2010), у анкети су наведене све делатности прерађивачке индустрије у Републици Србији. У називу сектора, двоцифрени број представља шифру делатности прерађивачке индустрије у посматраном пропису. Делатности којима припада највећи број предузећа је: 10 Производња прехранбених производа (21,05 [%]), 11 Производња пића (15,35 [%]), 32 Остале прерађивачке делатности (15,35 [%]) и 25 Производња металних производа, осим машина и уређаја (14,47 [%]). Остале категорије су заступљене у знатно мањем проценту.

Питање о типу тржишта на којем предузеће које послује у Републици Србији продаје своје производе је било са могућношћу вишеструког избора. На основу одговора, 68,86 [%] предузећа послује на међународном (светском) тржишту, 41,23 [%] на регионалном тржишту, 32,46 [%] на локалном тржишту, док најмање, 31,58 [%] предузећа, послује на националном тржишту. Више од половине предузећа која су обухваћена истраживањем послује на међународном тржишту, са конкурентнијим окружењем, разноврснијом потражњом и већом потребом за применом технологија Индустрије 4.0, дигитализацијом и аутоматизацијом, што потврђује да је одабрани узорак релевантан за ову врсту истраживања.

Што се тиче броја различитих производа из асортимана предузећа, скоро половина предузећа има 51 или више различитих производа (46,93 [%]), 21,93 [%] има између 1 и 10 различитих производа, а најмање предузећа (4,82 [%]) има између 31 и 40 различитих производа у асортиману. Са већом диверзификацијом, као и већим

бројем производа, предузеће мора да поседује различите производне линије, као и више производних погона (Trattner и сарадници, 2017). Због тога је већа потреба за унапређивањем и организацијом пословања, па самим тим и увођењем технологија Индустрије 4.0.

Доминантни тип производње је серијска производња (54,82 [%]), а најмање заступљена је појединачна производња (16,23 [%]).

8.3.1.3. Трећи сегмент - заступљеност и лично мишљење о примени технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији

У оквиру питања у трећем сегменту испитивана је перцепција испитаника о познавању, тренутном нивоу примене и перципираној важности примене технологија Индустрије 4.0 у производном предузећу. Резултати су приказани у Табели 24., где је *Mean* - средња вредност, а *Std.* - стандардна девијација. Како би резултати анкете били од значаја, уврштене су све релевантне технологије Индустрије 4.0, која је детаљно представљена и анализирана у поглављу четири. С обзиром на то да је, у петом поглављу, на основу резултата прегледа литературе, истакнуто да су три најзначајније технологије Индустрије 4.0 Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци, посебно су анализирани резултати анкете за ове три технологије.

За одговоре на ова питања коришћена је Ликертова скала од пет тачака, од 1 (Уопште ми није познато/Уопште није имплементирано/Имплементација технологије је од најмање важности) до 5 (Потпуно ми је познато/У потпуности је имплементирано/Имплементација технологије је од највеће важности), респективно, по питању.

Табела 24: Ниво упознатости, примене и значаја технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима

Р.б.	Питања	Упознатост са технологијом		Ниво примене технологије		Значај имплементације технологије	
	Технологија	Средња вредност	Станд. девијација	Средња вредност	Станд. девијација	Средња вредност	Станд. девијација
1	Интернет „интелигентних” уређаја	2,98	1,30	2,52	1,42	2,97	1,27
2	Сајбер безбедност	3,21	1,36	3,29	1,48	3,31	1,28
3	Сајбер-физички системи	2,59	1,38	2,70	1,45	3,01	1,32
4	Рачунарство у „облаку”	3,43	1,34	3,41	1,40	3,51	1,28
5	Велики подаци	3,00	1,28	2,90	1,45	3,34	1,31
6	Комуникација између машина	2,89	1,38	2,64	1,38	3,22	1,36
7	Адитивна производња	2,30	1,19	2,07	1,30	2,69	1,33
8	Роботи	2,71	1,29	2,47	1,46	3,09	1,43
9	Виртуелна стварност	1,96	1,03	1,67	1,05	2,35	1,31
10	Проширена стварност	1,71	0,93	1,54	0,95	2,29	1,26
11	Пословна интелигенција	2,46	1,30	2,30	1,35	3,00	1,39
12	Машинско учење	2,43	1,20	2,18	1,31	3,02	1,41
13	Вештачка интелигенција	2,52	1,18	1,91	1,18	2,86	1,41
14	Дигитални близанац	1,64	0,90	1,61	1,03	2,38	1,28

Одговори на прво питање, колико су испитаници упознати са технологијама Индустрије 4.0 које се примењују за дигитализацију пословања и аутоматизацију процеса у производним предузећима, показују да су испитаници највише упознати са технологијом Рачунарство у „облаку” (3,43), а најмање са технологијом Дигитални близанци (1,64). Посматрајући вредности за најзначајније три технологије Индустрије 4.0, испитаници су највише упознати са технологијом Великих података (3,00), а најмање са технологијом Вештачке интелигенције (2,52).

Одговори на друго питање које се односи на тренутни ниво примене ових технологија за дигитализацију и аутоматизацију производних процеса у

посматраном предузећу, показују да испитаници највише користе технологију Рачунарство у „облаку” (3,41), а најмање технологију Проширене стварности (1,54). Посматрајући вредности за одабране три технологије, испитаници највише користе технологију Великих података (2,90), док најмање користе технологију Вештачке интелигенције (1,91).

Одговори на треће питање, значај имплементације ових технологија у посматраном предузећу у циљу подизања нивоа дигитализације и аутоматизације производних процеса за унапређење управљања производњом показује да је, за испитанике, највише значајна технологија Рачунарство у „облаку” (3,51), а најмање значајна технологија Проширене стварности (2,29). Посматрајући вредности за одабране три технологије, испитаници сматрају да је најважнија технологија Великих података (3,34), док је најмање важна технологија Вештачке интелигенције (3,06). Резултати указују на то да су испитаници донекле упознати са технологијама Индустрије 4.0, иако нису све технологије заступљене или нису у великој мери имплементиране у предузећима, и да је перцепција њиховог значаја за производни процес позитивна.

Наредно питање се односило на сагласност испитаника са ставовима које се односе на дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса. За одговоре коришћена је Ликертова скала од пет тачака. Резултати су приказани у Табели 25.

У вези дигитализације пословања и аутоматизације производних процеса, резултати показују да се испитаници највише слажу са тиме да ће њихова примена олакшати и унапредити процес управљања производњом (4,34), док се најмање слажу са тиме да ће се смањити трошкови у производњи (3,95).

Табела 25: Ставови испитаника у вези са дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса

Р.б.	Ставови	Средња вредност	Станд. девијација
1	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса олакшаће се и унапредити процес управљања производњом	4,34	0,82
2	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса постићи ће се већа ефикасност производње	4,28	0,90
3	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса побољшаће се производне перформансе	4,25	0,86
4	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса процес управљања залихама постаће ефикаснији	4,25	0,85
5	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса предузећа постају конкурентнија на тржишту	4,18	0,88
6	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса смањиће се грешке у производњи	4,04	1,01
7	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса повећаће се приходи	3,97	0,93
8	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса смањиће се трошкови у производњи	3,95	0,99

За наредно питање, у вези са сагласношћу са ставовима које се односе на спремност предузећа за примену технологија за дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса, односно ниво дигиталне зрелости предузећа у којем су испитаници запослени, коришћена је иста Ликертова скала као за претходно питање. Резултати су приказани у Табели 26.

Испитаници се највише слажу са ставом да предузеће у којем су запослени тежи иновативности (3,99), као и да руководство предузећа подржава дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса (3,74). Најмање су сагласни са тиме да је досадашњи начин рада добар и да нема потребе да се унапређује, односно дигитализује и аутоматизује (2,22), затим да се у производном погону комуникација између запослених врши искључиво електронским путем (путем рачунара, *ERP* софтвера, осталих дигиталних технологија) (2,56), као и да су запослени у потпуности обучени за рад са савременим технологијама (2,58).

Табела 26: Ставови испитаника у вези са нивоом дигиталне зрелости предузећа у којем су запослени

Р.б.	Ставови	Средња вредност	Станд. девијација
1	Предузеће тежи иновативности	3,99	1,04
2	Руководство предузећа подржава дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса	3,74	1,10
3	Руководство предузећа тренутно размишља о дигитализацији пословања и аутоматизацији производних процеса	3,58	1,22
4	Руководство и запослени предузећа су упознати са концептом дигитализације пословања и аутоматизације производних процеса	3,43	1,11
5	Предузеће има довољно финансијских средстава да у потпуности дигитализује пословање и аутоматизује процесе	3,42	1,23
6	Сви производни процеси су стандардизовани	3,36	1,22
7	Може се извршити реинжењеринг свих производних процеса у предузећу, да постану аутоматизовани, као и да се примењују савремене дигиталне технологије	3,36	1,12
8	У току је процес имплементације неких од технологија за дигитализацију и аутоматизацију у производњи	3,22	1,34
9	Комуникација са купцима је у потпуности дигитализована и аутоматизована	2,98	1,24
10	Комуникација са добављачима је у потпуности дигитализована и аутоматизована	2,95	1,23
11	Запослени желе да мењају досадашњи начин рада	2,92	1,12
12	У току је процес оспособљавања запослених за примену неких од технологија за дигитализацију и аутоматизацију производних процеса	2,84	1,26
13	Производни ток је аутоматизован и могуће га је у потпуности пратити путем дигиталних технологија	2,81	1,29
14	Грешке настале у процесу производње се електронским путем пријављују и преносе до одговорне особе	2,81	1,32
15	Запослени су довољно компетентни за употребу савремених технологија	2,80	1,17
16	Активности управљања складиштима су у потпуности аутоматизоване	2,62	1,28
17	Запослени су у потпуности обучени за рад са савременим технологијама	2,58	1,16
18	У производном погону комуникација између запослених се врши искључиво електронским путем (путем рачунара, ERP софтвера, осталих дигиталних технологија)	2,56	1,31
19	Досадашњи начин рада је добар и да нема потребе да се унапређује, односно дигитализује и аутоматизује	2,22	1,05

Наредно питање се односило на оцењивање утицаја критеријума за дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса у производним предузећима у Републици Србији. За оцену је коришћена Ликертова скала од пет тачака. Резултати су приказани у Табели 27.

Табела 27: Ставови испитаника у вези са оценама утицаја критеријума за дигитализацију и аутоматизацију производних процеса

Р.б.	Критеријум	Средња вредност	Станд. девијација
1	Иновације и измене у производима предузећа	3,91	0,92
2	Промене визије предузећа	3,75	0,95
3	Конкуренција	3,73	0,97
4	Утицај купаца	3,73	0,98
5	Тржишни услови	3,64	1,03
6	Промене у организационој структури предузећа	3,57	0,97
7	Утицај и тежње запослених у предузећу ка променама	3,49	1,05
8	Утицај добављача	3,47	0,96
9	Државни подстицај и подршка	3,34	1,11

Испитаници се највише слажу са ставом да иновације и измене у производима предузећа (3,91), као и промена визије предузећа (3,75), конкуренција и утицај купаца (по 3,73) највише утичу на дигитализацију и аутоматизацију производних процеса у производним предузећима у Републици Србији, док најмањи утицај имају државни подстицај и подршка (3,34).

Последње питање у овом сегменту питања односило се на оцењивање утицаја препрека за увођење дигитализације пословања и аутоматизације производних процеса у производним предузећима у Републици Србији. За оцену је коришћена иста Ликертова скала, а резултати су приказани у Табели 28.

Табела 28: Ставови испитаника у вези са оценама утицаја препрека за увођење дигитализације пословања и аутоматизације производних процеса

Р.б.	Препреке	Средња вредност	Станд. девијација
1	Високи трошкови набавке, имплементације и одржавања технологија	3,98	0,94
2	Недовољна информисаност о технологијама и могућностима њихове примене	3,68	1,04
3	Сложеност примене технологија	3,63	0,91
4	Недостатак финансијских средстава предузећа	3,53	1,24
5	Недостатак стандардизације процеса у предузећу	3,32	1,17
6	Идеја за примену неких од технологија за дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса није подржана од стране органа управљања предузећем	3,31	1,19
7	Недостатак подршке и подстицаја од стране државе	3,24	1,13
8	Отпор запослених ка променама	3,18	1,18
9	Проблеми у вези са безбедношћу и заштитом приватности података	3,18	1,11
10	Високи трошкови обуке запослених	2,93	1,12
11	Проблеми са константном снабдевношћу електричном енергијом	2,43	1,37
12	Проблеми са приступом Интернету	2,35	1,37

Према овим резултатима, може се закључити да испитаници сматрају да су највећа препрека за увођење дигитализације пословања и аутоматизације производних процеса у производним предузећима у Републици Србији високи трошкови набавке, имплементације и одржавања технологија (3,98), док најмању препреку представљају проблеми у вези са приступом Интернету (2,35).

8.3.1.4. Четврти сегмент - детерминанте који утичу на примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији

Мерење детерминанти је извршено коришћењем Ликертове скале од пет тачака. За мерење детерминанти ОУ, ОЛК, ДУ и ОЛУ коришћена су стандардна питања за *UTAUT* модел, састављена по узору на питања из истраживања приказаном у радовима *Al-Saedi* и сарадници (2020) и *Khalilzadeh* и сарадници (2017). Главни циљ истраживања је да се истражи да ли испитаници сматрају да ће употреба технологије повећати ефикасност рада (ОУ), да ли сматрају да је технологија једноставна за коришћење (ОЛК), да ли други људи или окружење утичу на испитанике да прихвате технологије (ДУ), да ли предузеће има адекватну

структуру и ресурсе за имплементацију технологије (ОЛУ) (Venkatesh и сарадници, 2003), као и да се испита утицај тих детерминанти на намеру за прихватање и примену таквих технологија (НП).

У циљу обезбеђења поузданих одговора, важно је да је сваки испитаник упознат са технологијама наведеним у овом сегменту питања у упитнику, као и да поседује знања о томе шта свака од наведених технологија представља. Из тог разлога је, за сваку од технологија, пре питања, наведено кратко објашњење и могућа поља примене.

С обзиром да је у поглављу пет истакнуто које су три најзначајније технологије Индустрије 4.0, резултати питања у овом сегменту биће представљени само за те три технологије (Табела 29.): Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци, а што ће даље бити примењено у наставку рада, за поставку *UTAUT* модела. За одговоре на ово питање коришћена је Ликертова скала од пет тачака.

Добијени резултати показују да су намере испитаника за прихватање и примене ове три технологије, на основу свих детерминанти, позитивне, с обзиром на то да имају вредност између 3 и 4, где 3 представља неутралан став, а 4 ближе претежну сагласност. Оно што се такође може закључити јесте да ниједан став није негативан, а, посматрајући стандардну девијацију, нема великих одступања. Ови резултати представљају добру основу за даље статистичко моделирање.

Табела 29: Ставови о детерминантама прихватања и примене три најзначајније технологије Индустрије 4.0

Р.б.	Дет.	Ставови	Технологија					
			Интернет „интелигентних“ уређаја		Вештачка интелигенција		Велики подаци	
			Средња вр.	Станд. дев.	Средња вр.	Станд. дев.	Средња вр.	Станд. дев.
1	ОУ	Сматрам да би та технологија била корисна у мом свакодневном раду	3,87	1,15	3,54	1,20	3,81	1,13
2		Употреба те технологије би ми омогућила да брже извршим пословне задатке	3,87	1,10	3,57	1,15	3,68	1,16
3		Употреба те технологије би ми омогућила да лакше извршим пословне задатке	3,85	1,14	3,57	1,16	3,69	1,16
4	ОЛК	Било би ми лако да савладам коришћење те технологије	3,85	1,01	3,69	1,02	3,68	1,05
5		Било би ми лако да користим ту технологију	3,87	0,97	3,70	1,00	3,70	1,01
6		Верујем да бих лако научио/ла да користим ту технологију	4,02	0,93	3,80	0,98	3,78	1,00
7	ДУ	Користио/ла бих ову технологију ако би ми колеге препоручили	3,82	0,99	3,55	1,10	3,55	1,06
8		Користио/ла бих ову технологију ако би ми пријатељи препоручили	3,69	1,05	3,45	1,17	3,50	1,07
9		Користио/ла бих ову технологију ако бих о томе видео/ла или слушао/ла на друштвеним мрежама	3,26	1,13	3,11	1,20	3,16	1,15
10	ОЛУ	Имам потребне ресурсе за коришћење те технологије	3,96	1,00	3,90	1,09	3,82	1,01
11		Имам потребно знање за коришћење те технологије	3,43	1,15	3,27	1,18	3,40	1,15
12	НП	Имам намеру да користим ту технологију у наредних 12 месеци	3,22	1,25	3,05	1,26	3,15	1,24
13		Сматрам да ћу користити ту технологију у наредних 12 месеци	3,14	1,26	3,01	1,27	3,08	1,22
14		Планирам да користим ту технологију у наредних 12 месеци	3,14	1,30	3,01	1,28	3,11	1,24

8.3.2. Поставка проширеног *UTAUT* модела за потребе истраживања

Познавање детерминанти које утичу на усвајање технологије у земљама у развоју је неопходно, јер се оне разликују од развијених земаља, због варијација у дигиталној писмености, инфраструктури, друштвеним утицајима и нивоима поверења (Dwivedi и сарадници, 2020). Из тог разлога, за земље чији је ниво технолошког развоја и индустријализације сличан Републици Србији, проширени и модификовани *UTAUT* модел, приказан у наставку овог поглавља, може бити од значаја, с обзиром да су детерминанте прилагођене специфичностима земаља у развоју. То се посебно односи на земље у Источној Европи и региону Балкана (Босна и Херцеговина, Црна Гора, Северна Македонија, део Хрватске, Словенија, Грчка, Румунија и друге).

Брзи развој технологија допринео је развоју великог броја детерминанти који утичу на њихово прихватање. Стога је веома важно анализирати значај и утицај различитих детерминанти које могу унапредити примену тих технологија (Каро и сарадници, 2024) и утицати на повећање њене употребе. Како би се испитало које су то детерминанте које утичу на прихватање и примену технологија Индустрије 4.0, потребно је применити неки од постојећих теорија и модела које се баве анализом прихватања технолошких иновација од стране корисника. У поглављу шест приказане су постојеће теорије и модели и изабран је модел који, по структури, карактеристикама, значају и комплексности, може да се примени у те сврхе – *UTAUT* модел. Основне детерминанте *UTAUT* модела су: ОУ, ОЛК, ДУ и ОЛУ. Међутим, како су резултати анкете показали, постоје и додатне детерминанте које утичу на намеру за прихватање и примену технологија. Стога ће у наставку рада, у потпоглављу 8.3.2.1, бити наведене и објашњене додатне детерминанте које утичу на намеру за прихватање и примену технологија, а које ће чинити предложени проширени *UTAUT* модел. Проширени *UTAUT* модел даје шире објашњење о потенцијалном значају додатних детерминанти који нису обухваћене стандардним *UTAUT* моделом, а могу имати утицај на намеру за прихватање и примену технологија (Kwarteng и сарадници, 2022).

За сваку од детерминанти дефинисане су хипотезе истраживања. Имајући у виду специфичности сваке од одабраних технологија, како би се пружили увиди

релевантни по технологији, проширени *UTAUT* модел је појединачно тестиран за сваку од три одабране технологије. Сва три модела су тестирана и упоређена, а резултати су приказани у потпоглављу 8.3.2.2, док су закључни резултат и статус тестирања хипотеза проширеног *UTAUT* модела приказани у потпоглављу 8.3.2.3.

8.3.2.1. Детерминанте проширеног *UTAUT* модела, хипотезе истраживања и структура модела

Четири основне детерминанте *UTAUT* модела (ОУ, ОЛК, ДУ и ОЛУ) посматране су за сваку од три технологије посебно, док су додатне детерминанте (Ставови према дигитализацији и аутоматизацији (СДА) (енгл. *Attitudes towards Digitalization and Automation - ADA*); Подршка и способности за промене (ПСП) (енгл. *Support and Abilities to Change - SAC*) које обухвата: Свест и подршку (СП) (енгл. *Awareness and Support - AS*), Тренутни ниво дигитализације и аутоматизације (ТНДА) (енгл. *The Current Level of Digitalization and Automation - CLDA*) и Дигитализоване и аутоматизоване активности купаца, добављача и складишта (ДААКДС) (енгл. *Customer, Supplier and Warehouse Digitalized and Automated Activities - CSWDAA*); Спољашњи и унутрашњи фактори (СУФ) (енгл. *External and Internal Factors - EIF*) које обухвата: Спољашње факторе (СФ) (енгл. *External Factors - EF*) и унутрашње факторе (УФ) (енгл. *Internal Factors - IF*); Препреке (П) (енгл. *Barriers - B*)) коришћене за проширење *UTAUT* модела идентификоване су, на основу анкете и резултата других истраживања (Damanpour и сарадници, 2018; Fu и сарадници, 2018; Ediriweera & Wiewiora, 2021; Khalilzadeh и сарадници, 2017; Zheng и сарадници, 2019), као значајне детерминанте у процесу прихватања и примене технологије и односе се на све технологије Индустрије 4.0. Из тог разлога, њихово укључивање у модел је емпиријски и теоријски оправдан.

У наставку рада приказана је Табела 30. у којој су наведене све детерминанте проширеног *UTAUT* модела, са одговарајућим ставовима из упитника и референцама које су коришћене за формулисање тих реченица.

Табела 30: Детерминанте проширеног *UTAUT* модела и одговарајући ставови из упитника за три посматране технологије, прилагођено према (Rajković и сарадници, 2025a)

Р.б.	Група дет.	Дет.	Ставови у упитнику	Извор
1	/	ОУ	Сматрам да би та технологија била корисна у мом свакодневном раду	<i>Brünink, 2016; Li и сарадници, 2024; Nysveen & Pedersen, 2016; Venkatesh и сарадници, 2003; Xu & Suzuki, 2025;</i>
2			Употреба те технологије омогућила би ми да брже извршим пословне задатке	
3			Употреба те технологије омогућила би ми да лакше извршим пословне задатке	
4	/	ОЛК	Било би ми лако да савладам коришћење те технологије	<i>Khalilzadeh и сарадници, 2017; Li и сарадници, 2024; Nysveen & Pedersen, 2016; Venkatesh и сарадници, 2003; Xu & Suzuki, 2025</i>
5			Било би ми лако да користим ту технологију	
6			Верујем да бих лако научио/ла да користим ту технологију	
7	/	ДУ	Користио/ла бих ову технологију ако би ми колеге препоручиле	<i>Khalilzadeh и сарадници, 2017; Li и сарадници, 2024; Nysveen & Pedersen, 2016; Venkatesh и сарадници, 2003;</i>
8			Користио/ла бих ову технологију ако би ми пријатељи препоручили	
9			Користио/ла бих ову технологију ако бих о томе видео/ла или слушао/ла на друштвеним мрежама	
10	/	ОЛУ	Имам потребне ресурсе за коришћење те технологије	<i>Li и сарадници, 2024; Nysveen & Pedersen, 2016; Ronaghi & Forouharfar, 2020; Venkatesh и сарадници, 2003;</i>
11			Имам потребно знање за коришћење те технологије	
12	/	СДА	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса олакшаће се и унапредити процес управљања производњом	<i>Khalilzadeh и сарадници, 2017; Nysveen & Pedersen, 2016</i>
13			Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса побољшаће се производне перформансе	
14			Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса постићи ће се већа ефикасност производње	
15			Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса смањиће се грешке у производњи	
16			Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса смањиће се трошкови у производњи	
17			Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса повећаће се приходи	

18	ПСП	СП	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса предузећа постају конкурентнија на тржишту	
19			Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса процес управљања залихама постаће ефикаснији	
20			Предузеће тежи иновативности	
21		СП	Предузеће има довољно финансијских средстава да у потпуности дигитализује пословање и аутоматизује процесе	Zheng и сарадници, 2019;
22			Руководство и запослени предузећа су упознати са концептом дигитализације пословања и аутоматизације производних процеса	
23			Руководство предузећа подржава дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса	
24			Руководство предузећа тренутно размишља о дигитализацији пословања и аутоматизацији производних процеса	
25		ТНДА	Може се извршити реинжењеринг свих производних процеса у предузећу, да постану аутоматизовани, као и да се примењују савремене дигиталне технологије	
26			Производни ток је аутоматизован и могуће га је у потпуности пратити путем дигиталних технологија	
27			Грешке настале у процесу производње се електронским путем пријављују и преносе до одговорне особе	
28			У производном погону комуникација између запослених се врши искључиво електронским путем (путем рачунара, ERP софтвера, осталих дигиталних технологија)	
29			У току је процес имплементације неких од технологија за дигитализацију и аутоматизацију у производњи	
30			У току је процес обучавања запослених за примену неких од технологија за дигитализацију и аутоматизацију производних процеса	
31		ДААКДС	Активности управљања складиштима су у потпуности аутоматизоване	
32			Комуникација са добављачима је у потпуности дигитализована и аутоматизована	
33			Комуникација са купцима је у потпуности дигитализована и аутоматизована	

34	СУФ	СФ	Тржишни услови	<i>Damanpour и сарадници, 2018; Fu и сарадници, 2018; Hirzallah & Alshurideh, 2023</i>
35			Државни подстицај и подршка	
36			Конкурвенција	
37			Утицај купаца	
38			Утицај добављача	
39		УФ	Промене визије предузећа	
40			Промене у организационој структури предузећа	
41			Утицај и тежње запослених у предузећу ка променама	
42			Иновације и измене у производима предузећа	
43	/	П	Недостатак подршке и подстицаја од стране државе	<i>Chouki и сарадници, 2019; Ediriweera & Wiewiora, 2021</i>
44			Високи трошкови набавке, имплементације и одржавања технологија	
45			Сложеност примене технологија	
46			Проблеми у вези са безбедношћу и заштитом приватности података	
47			Недовољна информисаност о технологијама и могућностима њихове примене	
48			Идеја за примену неких од технологија за дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса није подржана од стране органа управљања предузећем	
49			Недостатак финансијских средстава предузећа	
50			Недостатак стандардизације процеса у предузећу	
51			Проблеми са константном снабдевношћу електричном енергијом	
52			Проблеми са приступом Интернету	
53			Високи трошкови обуке запослених	
54			Отпор запослених ка променама	
55	/	НП	Имам намеру да користим ту технологију у наредних 12 месеци	<i>Davis, 1989a; Nysveen & Pedersen, 2016; Ronaghi & Forouharfar, 2020; Venkatesh и сарадници, 2003;</i>
56			Сматрам да ћу користити ту технологију у наредних 12 месеци	
57			Планирам да користим ту технологију у наредних 12 месеци	

Додатно, у наставку су наведене и хипотезе које се тестирају за све детерминанте овог модела. С обзиром да су, у потпоглављима 8.3.2. и 8.3.3., представљени резултати три *UTAUT* модела, за сваку технологију појединачно, у дефинисаним

хипотезама, приликом тестирања хипотезе за сваку технологију појединачно, уместо „технологије Индустрије 4.0” биће тестирана хипотеза за конкретну технологију на коју се посматрана хипотеза односи.

На основу представљеног у овом потпоглављу рада, појединачна хипотеза истраживања *X(1.6): Одабрани модел за анализу детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 могуће је проширити са додатним детерминантама за прихватање и примену технологија, које нису обухваћене изворним обликом модела, је потврђена.*

8.3.2.1.1. Детерминанта Очекивани учинак

Очекивани учинак (ОУ) дефинише се као: „Степен у којем појединац верује да ће му коришћење система помоћи да постигне унапређења у радном учинку” (Venkatesh и сарадници, 2003) и представља прву основну детерминанту за испитивање намере за прихватање и примену технологије. У овој дефиницији, као и у дефиницијама за детерминанте ОЛК, ДУ и ОЛУ, термин систем односи се на технологију. ОУ истиче значај корисности технологије као главни фактор усвајања технологије и представља детерминанту која одређује НП (Venkatesh и сарадници, 2003). У претходним истраживањима у вези прихватања и примене технологија Интернет „интелигентних” уређаја (Ronaghi & Forouharfar, 2020), Великих података (Cabrera-Sánchez & Villarejo-Ramos, 2020) и Вештачке интелигенције (Li и сарадници, 2024) истиче се да ОУ позитивно утиче на усвајање, примену и намеру коришћења ових технологија, односно на НП. Стога се овде може тестирати хипотеза истраживања, која ће се тестирати посебно, за сваку од три посматране технологије:

X(1.7.1): Очекивани учинак има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

8.3.2.1.2. Детерминанта Очекивана лакоћа коришћења

Очекивана лакоћа коришћења (ОЛК) дефинише се као: „Степен лакоће повезан са коришћењем система” (Venkatesh и сарадници, 2003) и представља другу основну детерминанту за испитивање намере за прихватање и примену технологије. Ова

детерминанта је од великог значаја за намеру за прихватање и примену технологија (Kessler & Martin, 2017) који има позитиван утицај (Venkatesh и сарадници, 2003). Детерминанта ОЛК утиче на прихватање технологије, нарочито у почетним фазама увођења или усвајања иновација (Cimperman и сарадници, 2016). Виши ниво ОЛК указује на то да технологија захтева мање ангажовања и напора за коришћење (Or и сарадници, 2011). У претходним истраживањима у вези прихватања и примене технологија Интернет „интелигентних” уређаја (Xu и Suzuki, 2025), Великих података (Queiroz & Pereira, 2020) и Вештачке интелигенције (Li и сарадници, 2024) наводи се да ОЛК позитивно утиче на усвајање, примену и намеру коришћења, односно на НП. Стога се може дефинисати хипотеза истраживања, која ће се тестирати посебно, за сваку од три посматране технологије:

X(1.7.2): Очекивана лакоћа коришћења има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима.

8.3.2.1.3. Детерминанта Друштвени утицај

Друштвени утицај (ДУ) дефинише се као: „Степен у којем појединац перципира да особе од значаја у његовом окружењу верују да он треба да користи нови систем” (Venkatesh и сарадници, 2003). Ова детерминанта је трећа основна детерминанта за испитивање намере за прихватање и примену технологије. Аутори Högd и сарадници (2010) сматрају да је ова детерминанта кључна за усвајање технологије, док аутори Kessler и Martin (2017) сматрају да ДУ указује на то да други људи имају значајан утицај на мишљење појединца у вези усвајања технологије. У претходним истраживањима у вези прихватања и примене технологија Интернет „интелигентних” уређаја (Xu & Suzuki, 2025), Великих података (Brünink, 2016) и Вештачке интелигенције (Gohil, 2023) истиче се да ДУ позитивно утиче на усвајање, примену и намеру коришћења технологија. Може се закључити да препорука других корисника може позитивно утицати на имплементацију и коришћење технологија, односно на НП. Стога се може дефинисати хипотеза истраживања, која ће се тестирати посебно за сваку од три посматране технологије:

X(1.7.3): Друштвени утицај има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима.

8.3.2.1.4. Детерминанта Олакшавајући услови

Олакшавајући услови (ОЛУ) дефинишу се као: „Степен у којем појединац верује да постоји организациона и техничка инфраструктура која подржава коришћење система” (Venkatesh и сарадници, 2003). Ова детерминанта је четврта основна детерминанта за испитивање намере за прихватање и примену технологије и представља захтеве, ресурсе и подршку која је потребна корисницима да би ефикасно усвојили и применили нову технологију (Kessler & Martin, 2017). Приступ техничкој подршци и њена доступност значајно утичу на НП (Or и сарадници, 2011). У претходним истраживањима у вези са прихватањем и применом технологија Интернет „интелигентних” уређаја (Ronaghi & Forouharfar, 2020), Велики подаци (Cabrera-Sánchez & Villarejo-Ramos, 2020) и Вештачке интелигенције (Li и сарадници, 2024), наводи се да ОЛУ позитивно утиче на усвајање, примену и намеру коришћења технологија, односно на НП. Стога се може дефинисати хипотеза истраживања, која ће се тестирати посебно за сваку од три посматране технологије:

X(1.7.4): Олакшавајући услови имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима.

8.3.2.1.5. Детерминанта Ставови према дигитализацији и аутоматизацији

Ставови према дигитализацији и аутоматизацији (СДА) представља додатну детерминанту за испитивање намере за прихватање и примену технологије која се односи на све технологије Индустије 4.0. Позитиван став може омогућити бржу и лакшу примену и прихватање технологије (Chen и сарадници, 2002) и имати позитиван утицај на имплементацију и усвајање технологије (Khalilzadeh и сарадници, 2017; Nysveen & Pedersen, 2016). Како се повећава свест да технологије Индустије 4.0, као и дигитализација и аутоматизација, унапређују традиционално пословање, могуће је лакше прихватити и имплементирати технологију. Стога се може дефинисати хипотеза истраживања:

X(1.7.5): Ставови према дигитализацији и аутоматизацији процеса имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима.

8.3.2.1.6. Детерминанта Подршка и способности за промене

Детерминанта Подршка и способности за промене (ПСП) представља додатну детерминанту за испитивање намере за прихватање и примену технологије која се односи на све технологије Индустрије 4.0. Ова детерминанта указује на то да ли је предузеће оријентисано ка иновацијама, да ли има подршку руководства, да ли запослени верују да им технологије могу помоћи у раду и унапредити постојеће процесе, као и у смањењу или елиминисању грешака у раду, да ли постоји техничка могућност за имплементацију технологија, да ли су неки од процеса већ дигитализовани и аутоматизовани, чак и на ниском нивоу, што омогућава лакше увођење и имплементацију технологија Индустрије 4.0 (Zheng и сарадници, 2019). Ова детерминанта се састоји из три поддетерминанте: Свест и подршка (СП), Тренутни ниво дигитализације и аутоматизације (ТНДА) и Дигитализоване и аутоматизоване активности купаца, добављача и складишта (ДААКДС). Стога се могу дефинисати следеће три хипотезе истраживања:

X(1.7.6): Свест и подршка руководства предузећа имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима;

X(1.7.7): Тренутни ниво дигитализације и аутоматизације производних процеса има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима;

X(1.7.8): Дигитализоване и аутоматизоване активности купаца, добављача и складишта имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

8.3.2.1.7. Детерминанте Спољашњи и унутрашњи фактори

Спољашњи (СФ) и унутрашњи фактори (УФ) представљају додатне детерминанте за испитивање намере за прихватање и примену технологије које се односе на све технологије Индустрије 4.0. Ови фактори могу утицати на промене (Damanpour и сарадници, 2018). СФ могу утицати на увођење промена у предузећима (Hirzallah & Alshurideh, 2023), као што су промене тржишних услова, конкуренције, купаца, добављача, државних прописа и регулатива. Иницијатива за променама може

проистећи од руководства предузећа, из потребе за иновацијама постојећих производа или увођењем нових производа, као и од стране запослених (Hirzallah & Alshurideh, 2023). Информације из различитих извора, као што су унутрашњи (од предузећа, запослених и руководства) и спољашњи (од других пословних субјеката, купаца, добављача и других), могу позитивно утицати на усвајање технологије (Fu и сарадници, 2018). Стога се могу дефинисати следеће две хипотезе истраживања:

X(1.7.9): Спољашњи фактори имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима;

X(1.7.10): Унутрашњи фактори имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

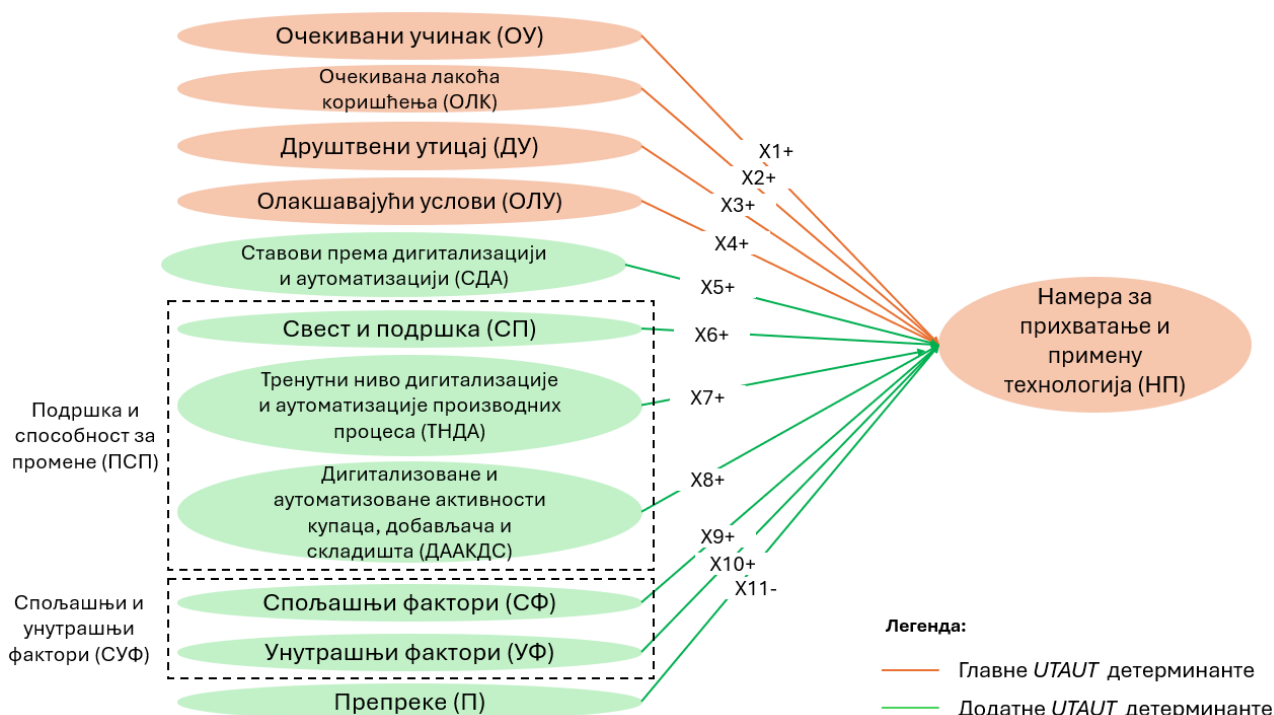
8.3.2.1.8. Детерминанта Препреке

Детерминанта Препреке (П) представља додатну детерминанту за испитивање намере за прихватање и примену технологије која се односи на све технологије Индустрије 4.0. Да би се увела и имплементирала технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима, бројне препреке негативно утичу на усвајање технологије, као што су финансијски трошкови (Fu и сарадници, 2018), одбијање и неприхватање технолошких иновација од стране запослених, недостатак знања за имплементацију технологија, ограничено учешће запослених у доношењу одлука, трошкови улагања у машине и опрему (Ediriweera & Wiewiora, 2021), недостатак ангажовања, учешћа, обуке, техничких вештина и стручности запослених, као и незадовољство и отпор према променама (Chouki и сарадници, 2019). Стога се може дефинисати следећа хипотеза истраживања:

X(1.7.11): Препреке имају негативан утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.

Проширени UTAUT модел за потребе овог истраживања, са хипотезама, приказан је на Слици 31., где „плус” (+) представља позитиван, а „минус” (-) негативан утицај детерминанте на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима. За потребе провере предложеног концептуалног модела, биће коришћено моделовање структурних једначина (енгл. *Structural*

Equation Modelling - SEM). SEM је широко коришћена и призната статистичка метода за верификацију концептуалних модела (Kline, 2023). Анализирани концептуални модел може се састојати се од измерених и латентних зависних или независних променљивих, док SEM представља (Маричић и сарадници, 2022): „Технику која се користи како би се описао, утврдио и проценио модел са линеарним везама између скупа измерених променљивих, између скупа латентних променљивих које су описане обично мањим бројем латентних променљивих или између скупа измерених и латентних променљивих”. Имајући у виду величину узорка и сложеност модела, коришћено је моделовање засновано на коваријанси (енгл. *Covariance-Based-SEM* - CB-SEM) коришћењем софтвера AMOS 22 (пун назив софтвера: IBM AMOS, верзија 22.0; произвођач софтвера: IBM Corporation, седиште предузећа: Армонк, Њујорк, Сједињене Америчке Државе). Дескриптивна статистика и поузданост скала истражене су коришћењем софтвера SPSS 25 (пун назив софтвера: IBM SPSS Statistics, верзија 25.0; произвођач софтвера: IBM Corporation, седиште предузећа: Армонк, Њујорк, Сједињене Америчке Државе).



Слика 31: Истраживачки модел - проширени UTAUT модел са хипотезама за усвајање технологије у производним предузећима, прилагођено према (Rajković и сарадници, 2025a)

8.3.2.2. Резултати структурног моделирања и тестирања хипотеза истраживања

Предложени проширени *UTAUT* модел састоји се из два дела и 11 детерминанти: први део (стандардне четири детерминанте *UTAUT* модела: ОУ, ОЛК, ДУ и ОЛУ) које су посматране за сваку од три технологије засебно, и други део (додатних седам детерминанти: СДА, АП, ТНДА, ДААКДС, СФ, УФ и П) које представљају опште перцепције испитаника у вези свих технологија Индустрије 4.0. Стога, за сва три проширена *UTAUT* модела коришћено је истих додатних седам детерминанти (СДА, СП, ТНДА, ДААКДС, УФ, СФ и П), чији је утицај на НП анализиран у овом истраживању. Пре истраживања валидности сваког проширеног *UTAUT* модела, у Табели 31. приказана је поузданост и валидност скале додатних детерминанти, са припадајућим вредностима Кронбахове алфе (енгл. *Cronbach's Alpha - α*), просечне објашњене варијансе (енгл. *Average Variance Explained - AVE*), композитне поузданости (енгл. *Composite Reliability - CR*), средње вредности скале (енгл. *Mean*) и стандардне девијације (енгл. *Standard Deviation-Std.*).

Табела 31: Интерна валидност додатних детерминанти проширеног *UTAUT* модела – заједничке за све испитиване моделе (Rajković и сарадници, 2025a)

Р.б.	Детерминанта	Број питања	α	AVE	C.R.	Средња вредност	Станд. девијација
1	СДА	8	0,924	0,661	0,940	4,156	0,149
2	СП	5	0,893	0,708	0,923	3,631	0,239
3	ТНДА	6	0,807	0,518	0,861	2,931	0,297
4	ДААКДС	3	0,844	0,766	0,907	2,851	0,198
5	СФ	5	0,799	0,564	0,865	3,583	0,173
6	УФ	4	0,790	0,615	0,864	3,680	0,187
7	П	12	0,850	0,582	0,880	3,229	0,450

Вредност коефицијента α изнад 0,7 указује на задовољавајућу поузданост скале (Taber, 2017). Како се измерене вредности коефицијената α крећу од 0,790 (УФ) до 0,924 (СДА), закључује се да свих седам скала има задовољавајућу поузданост. Поред поузданости скале, представљена је и дескриптивна статистика скала. Скала са највишом средњом вредношћу је СДА, што указује на висок степен сагласности испитаника са тврдњама, док је најнижа средња вредност ДААКДС, што указује на то да се испитаници углавном не слажу са тврдњама. Скала П има највећу

стандардну девијацију, што указује на то да се одговори унутар ове скале разликују. Све измерене вредности *AVE* и *CR* такође су изнад дефинисаних прагова од 0,5 и 0,7 (Hair и сарадници, 2010), што указује на интерну конзистентност и конвергентну валидност скала. Треба напоменути да две детерминанте привлаче пажњу због граничне вредности *AVE*, ТНДА (0,518) и СФ (0,564). Ипак, ове нешто ниже вредности не представљају проблем за даље моделирање.

8.3.2.2.1. Технологија Интернет „интелигентних” уређаја

Први *SEM* модел који је верификован је за технологију Интернет „интелигентних” уређаја. С обзиром да предложени концептуални модел обухвата елементе и перцепције које су повезане са технологијом, у Табели 32. приказано је испитивање поузданости оригиналне *UTAUT* скале за технологију Интернет „интелигентних” уређаја.

Табела 32: Технологија Интернет „интелигентних” уређаја - α , *AVE*, *CR*, средња вредност и стандардна девијација за *UTAUT* детерминанте (Rajković и сарадници, 2025a)

Р.б.	Детерминанте	Број питања	α	<i>AVE</i>	<i>C.R.</i>	Средња вредност	Станд. девијација
1	ОУ	3	0,948	0,907	0,967	3,864	0,000
2	ОЛК	3	0,936	0,887	0,959	3,914	0,308
3	ДУ	3	0,877	0,809	0,927	3,591	0,543
4	ОЛУ	2	0,719	0,783	0,878	3,693	0,615
5	НП	3	0,969	0,941	0,980	3,165	0,212

Измерена вредност коефицијента α се креће од 0,719 (ОЛУ) до 0,948 (ОУ), што показује да су скале поуздане без потребе за променом структура, јер је α изнад 0,70, у распону од задовољавајуће до одличне (Taber, 2017). Све измерене вредности *AVE* и *CR* такође су изнад дефинисаних прагова, што указује на унутрашњу конзистентност и конвергентну валидност скала (Hair и сарадници, 2010). Поред поузданости скале, у Табели 32. такође приказана је дескриптивна статистика скала. Скала са највишом средњом вредношћу је ОЛК (3,914), што указује да се испитаници у великој мери слажу са тврдњама. Истовремено, скала ОЛУ има највећу стандардну девијацију (0,615), што указује на различитост

одговора унутар ове скале. Харманов тест (енгл. *Harman's single-factor*) коришћен је за процену пристрасности модела. Овај тест се заснива на експлораторној факторској анализи (енгл. *Exploratory Factor Analysis - EFA*) и идентификује удео варијансе који је приписан једном задржаном латентном фактору (Aguirre-Urreta & Ну, 2019). Ако један задржани фактор објашњава мање од 50 [%] варијансе, нема пристрасности (енгл. *Common Method Bias - CMB*) у подацима (Podsakoff и сарадници, 2003). Добијени резултат за модел за технологију Интернет „интелигентних” уређаја показује да први фактор чини 12,894 [%] укупне варијансе, што је видљиво испод прага од 50 [%] (Podsakoff и сарадници, 2003). Стога, пристрасност није уочена у овом моделу.

Као додатна провера, спроведена је конфирматорна факторска анализа (енгл. *Confirmatory Factor Analysis – CFA*) и добијени су следећи резултати: Хи-квадрат (енгл. *Chi Square*) = 2965,608, број степени слободе (енгл. *Degrees of Freedom - df*) = 1473, индекс компаративног слагања (енгл. *Comparative Fit Index - CFI*) = 0,836, Такер-Луисов индекс (енгл. *Tucker-Lewis Index - TLI*) = 0,822, корен средње квадратне грешке апроксимације (енгл. *Root Mean Square Error of Approximation - RMSEA*)=0,067. Резултати показују солидно поклапање, узимајући у обзир сложеност модела. Једина детерминанта која је показала факторска оптерећења близу прага од 0,5 је П. Такав резултат се могао очекивати јер су узете у обзир различите посматране баријере и претходне резултате. Стога, ти резултати нису сматрани као препрека за даље моделирање. Сличан приступ је предложио аутор *Trimmer* (2014) у случају када су измерена оптерећења била близу прага од 0,5.

Квалитет почетног *SEM* модела је следећи: Хи-квадрат=3798,861, *df*=1528, *CFI*=0,749, *TLI*=0,738, *RMSEA*=0,081. Висока вредност Хи-квадрат статистике може се објаснити неслагањима између података и предложеног модела, као и величином узорка. *CFI* и *TLI* индекси су испод предложеног прага, што указује на могућност за унапређење модела. *RMSEA* је испод прага од 0,1, што указује на задовољавајући резултат. Стога је почетни модел модификован. Структуре детерминанти нису мењане, јер су све изјаве/ставке биле статистички значајне. За унапређење модела, коришћени су индекси модификације. Квалитет финалног модела је следећи: Хи-квадрат=2790,493, *df*=1497, *CFI*=0,857, *TLI*=0,848, *RMSEA*=0,062. Вредност Хи-квадрат статистике је смањена, док су *CFI* и *TLI* ближи

прагу од 0,9 . Вредност *RMSEA* је додатно смањена. Имајући у виду сложеност модела и величину узорка, овај модел је солидног квалитета и може се тумачити (Табела 33.).

Табела 33: Коначна процена модела за проширени *UTAUT* модел технологије Интернет „интелигентних” уређаја (Rajković и сарадници, 2025a)

Р.б.	Зависна променљива	Детерминанте	<i>UnStd. coeff</i>	<i>Std. coeff</i>	<i>C.R.</i>	<i>p-value</i>	<i>R</i> ²
1	НП	ОУ	0,328	0,311	5,016	0,000*	46,3 %
2		ОЛК	-0,114	-0,095	-0,944	0,345	
3		ДУ	0,145	0,109	1,426	0,154	
4		ОЛУ	0,815	0,527	5,202	0,000*	
5		СДА	-0,044	-0,030	-0,504	0,614	
6		СП	-0,125	-0,129	-1,300	0,193	
7		ТНДА	1,327	0,453	3,004	0,003*	
8		ДААКДС	-0,007	-0,006	-0,080	0,936	
9		СФ	-0,065	-0,042	-0,487	0,626	
10		УФ	-0,050	-0,026	-0,292	0,770	
11		П	0,085	0,059	0,992	0,321	

Од 11 детерминанти, три су статистички значајне: ОУ, ОЛУ и ТНДА. Све три детерминанте имају позитиван утицај НП, што указује, на пример, да повећање ОУ доводи до повећања НП. Модел објашњава 46,30 [%] варијабилитета НП, што се може сматрати задовољавајућим. Остале детерминанте нису статистички значајне. На основу њихових вредности, резултати потврђују X(1.7.1), X(1.7.4) и X(1.7.7), а не потврђују X(1.7.2), X(1.7.3), X(1.7.5), X(1.7.6), X(1.7.8), X(1.7.9), X(1.7.10) и X(1.7.11).

Као проверу робусности, извршена је валидација поделом на пола (Munkholm и сарадници, 2012). Валидација поделом узорка, узорак се дели у две групе, процењује модел у свакој групи и врши упоређивање. Модел показује прихватљиву стабилност у два подузорка, са мањим разликама у индексима подударана ($\Delta CFI=0,024$, $\Delta TLI=0,027$, $\Delta RMSEA=0,007$). Ови резултати указују на то да је структура мерења робусна и конзистентна унутар скупа података.

8.3.2.2.2. Технологија Вештачка интелигенција

Други *SEM* модел који је верификован је модел за технологију Вештачка интелигенција. С обзиром да предложени концептуални модел обухвата елементе и перцепције које су повезане са технологијом, у Табели 34. приказано је испитивање поузданости оригиналне *UTAUT* скале за технологију Вештачка интелигенција. Измерена вредност коефицијента α креће се од 0,762 (ОЛУ) до 0,961 (ОУ), што показује да су скале поуздане без потребе за променом структура, с обзиром да је α изнад 0,7 (Taber, 2017). Све измерене вредности *AVE* и *CR* су такође изнад дефинисаних прагова, што указује на унутрашњу конзистентност и конвергентну валидност скала (Hair и сарадници, 2010). Поред поузданости скале, у Табели 34. приказана је и дескриптивна статистика скала. Скала са највишом средњом вредношћу је ОЛК (3,730), што указује да се испитаници у великој мери слажу са тврдњама. Истовремено, скала ОЛУ има највећу варијансу (0,197), што указује на то да се одговори унутар ове скале разликују. Добијени резултат за Харманов тест за *UTAUT* модел технологије Вештачке интелигенције указује на то да први фактор објашњава 13,341 [%] укупне варијансе, што је видно испод прага од 50 [%] (Podsakoff и сарадници, 2003). Стога, пристрасност није уочена ни у овом моделу.

Табела 34: Технологија Вештачка интелигенција - α , *AVE*, *CR*, средња вредност и стандардна девијација за *UTAUT* детерминанте (Rajković и сарадници, 2025a)

Р.б.	Детерминанте	Број питања	α	<i>AVE</i>	<i>C.R.</i>	Средња вредност	Станд. девијација
1	ОУ	3	0,961	0,928	0,975	3,558	0,000
2	ОЛК	3	0,961	0,928	0,975	3,730	0,063
3	ДУ	3	0,932	0,883	0,958	3,371	0,228
4	ОЛУ	2	0,762	0,808	0,894	3,586	0,444
5	НП	3	0,985	0,874	0,954	3,025	0,032

Затим је спроведена *CFA* и добијени су следећи резултати: Хи-квадрат = 2894,964, $df = 1473$, $CFI = 0,856$, $TLI = 0,844$, $RMSEA = 0,065$. Опет, уочена је једна детерминанта са факторским оптерећењем близу прага од 0,5 и то је детерминанта П. Као и у претходном моделу, овај резултат није посматран као препрека за даље моделирање.

Квалитет почетног *SEM* модела је следећи: Хи-квадрат = 3804,464, $df = 1528$, $CFI = 0,769$, $TLI = 0,758$, $RMSEA = 0,081$. Почетни квалитет модела је сличан почетном квалитету модела за технологију Интернет „интелигентних” уређаја. Стога је почетни модел модификован. Структуре детерминанти нису промењене, јер су све изјаве/ставке биле статистички значајне. За унапређење модела, коришћени су индекси модификације. Квалитет финалног модела је следећи: Хи-квадрат = 3019,337, $df = 1510$, $CFI = 0,847$, $TLI = 0,838$, $RMSEA = 0,066$. Вредност Хи-квадрат статистике је смањена, док су CFI и TLI били ближи прагу од 0,9. Вредност $RMSEA$ је додатно смањена. Имајући у виду сложеност модела и величину узорка, овај модел је солидног квалитета и може се тумачити (Табела 35.).

Табела 35: Коначна процена модела за проширени *UTAUT* модел технологије Вештачка интелигенција (Rajković и сарадници, 2025a)

Р.б.	Зависна променљива	Детерминанте	<i>UnStd. coeff</i>	<i>Std. coeff</i>	<i>C.R.</i>	<i>p-value</i>	R^2
1	НП	ОУ	0,332	0,329	4,856	0,000*	58,3 %
2		ОЛК	-0,157	-0,130	-1,373	0,170	
3		ДУ	0,326	0,274	3,573	0,000*	
4		ОЛУ	0,802	0,572	5,634	0,000*	
5		СДА	-0,128	-0,084	-1,717	0,086	
6		СП	-0,152	-0,148	-1,686	0,092	
7		ТНДА	0,649	0,229	2,258	0,024*	
8		ДААКДС	0,167	0,122	2,464	0,014*	
9		СФ	0,234	0,141	1,944	0,052	
10		УФ	-0,327	-0,173	-2,274	0,023*	
11		П	0,037	0,022	0,431	0,666	

Од 11 детерминанти, шест су статистички значајне: ОУ, ДУ, ОЛУ, ТНДА, ДААКДС и УФ. Пет детерминанти (ОУ, ДУ, ОЛУ, ТНДА и ДААКДС) имају позитиван утицај на НП, што указује, на пример, да повећање ОУ доводи до повећања НП. Најмањи негативан утицај на НП има УФ, што указује да повећање УФ смањује НП. Модел објашњава 58,3 [%] варијабилитета НП, што се може сматрати задовољавајућим. Остале детерминанте нису статистички значајне. На основу њихових вредности, резултати потврђују X(1.7.1), X(1.7.3), X(1.7.4), X(1.7.7) и X(1.7.8), а не потврђују X(1.7.2), X(1.7.5), X(1.7.6), X(1.7.9), X(1.7.10) и X(1.7.11).

Валидација поделом узорка на пола показала је да модел показује прихватљиву стабилност у два подузорка, са занемарљивим разликама у индексима подударача ($\Delta CFI = 0,001$, $\Delta TLI = 0,001$, $\Delta RMSEA = 0,003$). Ово указује на унутрашњу конзистентност и робусност модела мерења.

8.3.2.2.3. Технологија Великих података

Трећи *SEM* модел који је верификован је модел за технологију Великих података. С обзиром да предложени концептуални модел обухвата елементе и перцепције које су повезане са технологијом Великих података, у Табели 36. приказано је испитивање поузданости оригиналне *UTAUT* скале за ову технологију.

Табела 36: Технологија Великих података - α , *AVE*, *CR*, средња вредност и стандардна девијација за *UTAUT* детерминанте (Rajković и сарадници, 2025a)

Р.б.	Детерминанте	Број питања	α	<i>AVE</i>	<i>C.R.</i>	Средња вредност	Станд. девијација
1	ОУ	3	0,965	0,935	0,977	3,728	0,071
2	ОЛК	3	0,961	0,927	0,975	3,718	0,055
3	ДУ	3	0,930	0,882	0,957	3,402	0,214
4	ОЛУ	2	0,773	0,817	0,899	3,612	0,300
5	НП	3	0,985	0,971	0,990	3,113	0,032

Измерена вредност коефицијента α креће се од 0,773 (ОЛУ) до 0,965 (ОУ), што показује да су скале поуздане без потребе за променом структура, с обзиром да је α изнад 0,7 (Taber, 2017). Све измерене вредности *AVE* и *CR* су такође изнад дефинисаних прагова, што указује на унутрашњу конзистентност и конвергентну валидност скала (Nair и сарадници, 2010). Поред поузданости скале, у Табели 36. приказана је и дескриптивна статистика скала. Скала са највишом средњом вредношћу је ОУ (3,728), што указује на то да се испитаници у великој мери слажу са тврдњама. Истовремено, скала ОЛУ има највећу варијансу (0,090), што указује на то да се одговори унутар ове скале разликују. Добијени резултат са Хармановог теста за проширени *UTAUT* модел технологије Великих података указује на то да први фактор објашњава 13,257 [%] укупне варијансе, што је видљиво испод прага од 50 [%] (Podsakoff и сарадници, 2003). Стога, пристрасност није уочена ни у овом моделу.

Затим је спроведена *CFA* и добијени су следећи резултати: Хи-квадрат = 2964,627, $df = 1473$, $CFI = 0,855$, $TLI = 0,843$, $RMSEA = 0,067$. Поново, једина детерминанта која је показала факторска оптерећења близу прага од 0,5 је П. Као и у претходном моделу, посматрани резултат није посматран као препрека за даље моделирање.

Квалитет почетног модела је следећи: Хи-квадрат = 4130,599, $df = 1529$, $CFI = 0,746$, $TLI = 0,735$, $RMSEA = 0,087$. Почетни квалитет модела је сличан почетном квалитету модела за технологије Интернет „интелигентних” уређаја и Вештачка интелигенција. Стога је почетни модел модификован. Структуре детерминанти нису промењене, јер су све изјаве/ставке биле статистички значајне. За унапређење модела, коришћени су индекси модификације. Квалитет финалног модела је следећи: Хи-квадрат = 3333,771, $df = 1518$, $CFI = 0,847$, $TLI = 0,838$, $RMSEA = 0,066$. Вредност Хи-квадрат статистике је смањена, док су CFI и TLI били ближи прагу од 0,9. Вредност $RMSEA$ је додатно смањена. Имајући у виду сложеност модела и величину узорка, овај модел је солидног квалитета и може се тумачити (Табела 37.).

Табела 37: Коначна процена модела за проширени *UTAUT* модел технологије Великих података (Rajković и сарадници, 2025a)

Р.б.	Зависна променљива	Детерминанте	<i>UnStd. coeff</i>	<i>Std. coeff</i>	<i>C.R.</i>	<i>p-value</i>	R^2
1	НП	ОУ	0,596	0,499	6,585	0,000*	60,3 %
2		ОЛК	-0,252	-0,240	-3,560	0,000*	
3		ДУ	0,172	0,147	2,725	0,006*	
4		ОЛУ1	0,003	0,003	0,046	0,963	
5		ОЛУ2	0,517	0,564	9,771	0,000*	
6		СДА	0,028	0,020	0,393	0,694	
7		СП	-0,077	-0,076	-1,433	0,152	
8		ТНДА	0,401	0,137	2,415	0,016*	
9		ДААКДС	0,003	0,002	0,043	0,966	
10		СФ	0,174	0,112	1,619	0,105	
11		УФ	-0,399	-0,228	-3,134	0,002*	
12		П	0,006	0,004	0,046	0,963	

С обзиром на то да је детерминанта ОЛУ имала негативну варијансу у анализи процене модела, ова детерминанта је раздвојена на појединачне тврдње чији је утицај на НП посматран. Показало се да једна има (ОЛУ2), а друга нема значај (ОЛУ1). Од 11 детерминанти, шест је статистички значајно: ОУ, ОЛК, ДУ, ОЛУ2,

ТНДА и УФ. Четири од њих (ОУ, ДУ, ОЛУ2 и ТНДА) имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену таквих технологија (НП), што указује да, на пример, повећање ОУ доводи до повећања НП, док две од шест детерминанти (ОЛК и УФ) имају негативан утицај на НП, тј. њихово повећање доводи до смањења НП. Модел објашњава 60,30 [%] варијабилности НП, што се може сматрати задовољавајућим. Остале детерминанте нису статистички значајне. На основу њихових вредности, резултати потврђују X(1.7.1), X(1.7.3), X(1.7.4) и X(1.7.7), а не потврђују X(1.7.2), X(1.7.5), X(1.7.6), X(1.7.8), X(1.7.9), X(1.7.10) и X(1.7.11).

Валидација поделом узорка на пола показала је да модел показује прихватљиву стабилност у два подузорка, са занемарљивим разликама у индексима подударања ($\Delta CFI = 0,013$, $\Delta TLI = 0,014$, $\Delta RMSEA = 0,003$). Ово указује на прихватљиву унутрашњу конзистентност и робусност модела мерења. Робусност овог модела је најнижа међу сва три модела.

8.3.2.3. Закључни резултати и статус хипотеза проширеног *UTAUT* модела за све три технологије

Закључни резултати са статусом хипотеза за све три технологије (Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци) представљени су у Табели 38.

Табела 38: Статус тестираних хипотеза за сва три анализирана проширена *UTAUT* модела

Р.б.	Хип. (X)	Веза	Технологије			Коначни резултат
			Интернет „интелигентних” уређаја	Вештачка интелигенција	Велики подаци	
1	X(1.7.1)	ОУ→НП	Потврђена	Потврђена	Потврђена	Потврђена
2	X(1.7.2)	ОЛК→НП	Није потврђена	Није потврђена	Није потврђена	Није потврђена
3	X(1.7.3)	ДУ→НП	Није потврђена	Потврђена	Потврђена	Потврђена
4	X(1.7.4)	ОЛУ→НП	Потврђена	Потврђена	Потврђена (<i>OLV2</i>)	Потврђена
5	X(1.7.5)	СДА→НП	Није потврђена	Није потврђена	Није потврђена	Није потврђена
6	X(1.7.6)	СП→НП	Није потврђена	Није потврђена	Није потврђена	Није потврђена
7	X(1.7.7)	ТНДА→НП	Потврђена	Потврђена	Потврђена	Потврђена
8	X(1.7.8)	ДААКДС→НП	Није потврђена	Потврђена	Није потврђена	Није потврђена
9	X(1.7.9)	СФ→НП	Није потврђена	Није потврђена	Није потврђена	Није потврђена
10	X(1.7.10)	УФ→НП	Није потврђена	Није потврђена	Није потврђена	Није потврђена
11	X(1.7.11)	П→НП	Није потврђена	Није потврђена	Није потврђена	Није потврђена
Укупно			3 потврђене, 8 није потврђено	5 потврђених, 6 није потврђено	4 потврђене, 7 није потврђено	4 потврђене, 7 није потврђено

8.3.3. Дискусија резултата

Сprovedено истраживање, засновано на три проширена *UTAUT* модела, пружа дубље разумевање како различите детерминанте утичу на усвајање три технологије Индустрије 4.0 за дигитализацију и аутоматизацију производних процеса (Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци) у производним предузећима у Републици Србији. Резултати истраживања, из 228 производних предузећа у Републици Србији обухваћених истраживањем, показују да детерминанте ОУ, ОЛУ и ТНДА имају статистички значајан позитиван утицај на НП.

Резултати тестирања хипотеза које су се односиле на проширени *UTAUT* модел и предлози за унапређење утицаја детерминанти за НП, за сваку од три технологије, приказани су у наставку:

- **X(1.7.1): Очекивани учинак има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.** Прва хипотеза *X(1.7.1)* за све три технологије је **потврђена**, тј. ОУ има значајан позитиван утицај на НП све три технологије, док највећи утицај на НП има за технологију Великих података. Ово је у складу са резултатима из претходних истраживања, у вези технологије Интернет „интелигентних” уређаја (Xu & Suzuki,

2025), Вештачке интелигенције (Gansser & Reich, 2021) и Великих података (Cabrera-Sánchez & Villarejo-Ramos, 2020) које потврђују ову хипотезу. Што је већи ОУ, то је већа НП. На основу добијених резултата може се извести закључак да испитаници сматрају да ће имплементација ових технологија обезбедити снажне перформансе и да верују да ће фокусирање на имплементацију све три технологије унапредити перформансе у производним процесима.

- **X(1.7.2): Очекивана лакоћа коришћења има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.** Утицај детерминанте ОЛК на НП технологија није потврђен у сва три модела, што указује на то да *X(1.7.2)* **није потврђена**. Што је већи ОЛК, то је мања НП тих технологија, што је у складу са резултатима из претходних истраживања, у вези технологије Интернет „интелигентних” уређаја (Li и сарадници, 2024), Вештачке интелигенције (Gohil, 2023) и Велики подаци (Brünink, 2016). Ово не потврђује ову хипотезу, показујући да испитаници сматрају примену ових технологија компликованом и сложеном. Стога, у циљу повећања НП ових технологија, треба истаћи на који начин се ове технологије могу са лакоћом користити, омогућити приступ поједностављеним упутствима, као и обезбедити обуку, како би запослени у производним предузећима у Републици Србији могли да увиде да без великог напора могу да користе све три технологије у управљању производњом.
- **X(1.7.3): Друштвени утицај има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.** Резултати су потврдили ову хипотезу за технологије Вештачка интелигенција и Велики подаци, али не и за технологију Интернет „интелигентних” уређаја, на основу чега се може закључити да је *X(1.7.3)* **потврђена**, с обзиром да је прихваћена хипотеза за две од три технологије. Резултати показују да ДУ има позитиван утицај на НП за технологије Вештачке интелигенције и Великих података, што је у складу са резултатима из претходних истраживања, односно за технологију Вештачке интелигенције (Gohil, 2023) и Велики подаци (Cabrera-Sánchez & Villarejo-Ramos, 2020), док за технологију Интернет „интелигентних” уређаја, резултат је у сагласности са резултатима из (Li и сарадници, 2024). Што је већи ДУ, то је већа НП за технологије Вештачка интелигенција и Велики

подаци. Из наведеног се изводи закључак да је, за ове две технологије, хипотеза потврђена, односно, испитаници би имплементирали ове технологије када би имали препоруку или утицај различитих друштвених група, као што су колеге, пријатељи или друга предузећа. Усмено размењивање искуства и преношење претходних искустава од других људи, колега или предузећа, сарадња унутар индустрије или са другим производним предузећима, као и групна мотивација за примену технологије, могли би утицати на повећање намере за коришћењем таквих технологија (Ronaghi & Forouharfar, 2020). Међутим, ово се не односи на технологију Интернет „интелигентних” уређаја.

- **X(1.7.4): Олакшавајући услови имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.** ОЛУ је друга детерминанта чији је утицај на НП потврђен у сва три модела, на основу чега се изводи закључак да је *X(1.7.4)* **потврђена**. Резултати показују да ОЛУ има позитиван утицај на НП за коришћење све три технологије, што је у складу са резултатима из претходних истраживања, односно за технологију Интернет „интелигентних” уређаја (Ronaghi & Forouharfar, 2020), Вештачка интелигенција (Li и сарадници, 2024) и Велики подаци (Brünink, 2016), док ОЛУ највећи позитиван утицај на НП има за технологију Вештачка интелигенција. Што је већи ОЛУ, то је већи НП за њихово коришћење. Стога, предузећа треба да обезбеде све неопходне услове, ресурсе и подршку за коришћење таквих технологија.
- **X(1.7.5): Ставови према дигитализацији и аутоматизацији процеса имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.** Прва детерминанта чији утицај није забележен ни у једном од три модела је СДА, на основу чега се изводи закључак да *X(1.7.5)* **није потврђена**. СДА немају утицај на НП за било коју од три технологије. Запослени треба да буду више припремљени за увођење нових технологија у управљању производњом и у производне процесе, као и да буду свесни унапређења која могу настати њиховом применом. Унапређено и чешће информисање, образовање, размена знања о могућностима које дигитализација и аутоматизација могу донети производним предузећима, као и ангажовање руководства, могли би позитивно утицати на НП за ове три технологије. Могући

разлог за добијени резултат може бити то што предузећа обухваћена истраживањем нису већински корисници дигиталних технологија, стога им недостаје знање о могућим предностима примене (Kutlaša и сарадници, 2020). Предузећа могу сматрати да им није потребан виши степен дигитализације и аутоматизације, јер је тренутни ниво довољан. Такође, страх од усложњавања система и процеса, замене запослених технологијом, као и фокусирање на тренутне циљеве и стратегије, могу смањити намеру за коришћењем ових технологија. Међутим, степен дигитализације и аутоматизације производних предузећа у Републици Србији треба повећати у циљу унапређења свести и подстицања позитивног става према њиховој примени.

- **X(1.7.6): Свест и подршка руководства предузећа имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.** Детерминанта чији утицај није потврђен у сва три модела је СП, на основу чега се изводи закључак да је *X(1.7.6)* **није потврђена**. Што је већи СП, то је мањи НП за све три технологије. Измерени утицај ове детерминанте није статистички значајан, што није било очекивано. Предузеће чије руководство није свесно потенцијалних унапређења која би могла настати применом ових технологија, вероватно неће подржати њихову имплементацију. Проширујући разлоге поменуте у претходној детерминанти, неки од додатних разлога за непотврђивање ове хипотезе могли би бити страх од високих трошкова имплементације, недостатак подршке државе, проблеми са инфраструктуром и повезивањем, страх од неприхватања технологије од стране запослених и друго. Унапређен начин прикупљања информација, размена информација са конкурентима на тржишту и бољи увиди у стање на тржишту треба да повећају СП, што би даље могло утицати на повећање НП ових технологија.
- **X(1.7.7): Тренутни ниво дигитализације и аутоматизације производних процеса има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.** Трећа детерминанта чији је утицај потврђен у сва три модела, је ТНДА, на основу чега се изводи закључак да је *X(1.7.7)* **потврђена**. Резултати показују да ТНДА има позитиван утицај на НП за све три технологије, док најјачи утицај на НП има за технологију Интернет „интелигентних” уређаја. Што је већи ТНДА, то је већа НП за њихово

коришћење. На основу тога, предузећа која су започела процес дигитализације и аутоматизације производних процеса и имају процесе који се могу дигитализовати и аутоматизовати, спремније су за примену технологија и свесне су унапређења која се могу остварити применом ових технологија.

- **X(1.7.8): Дигитализоване и аутоматизоване активности купаца, добављача и складишта имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима.** Резултати показују да је утицај ДААКДС потврђен само у моделу технологије Вештачке интелигенције, на основу чега се изводи закључак да, с обзиром да није потврђена у два од три модела, *X(1.7.8)* **није потврђена**. Што је већи ДААКДС, тј. дигитализоване и аутоматизоване активности купаца, добављача и складишта, то је већи НП за ове технологије. Позитиван резултат је био очекиван, јер купци и добављачи, кроз свакодневну комуникацију и сарадњу, могу да подстакну иновације у производним предузећима и процесима. Аутоматизоване активности у складиштима могу смањити грешке, време, унапредити управљање залихама, смањити број запослених одговорних за праћење и организовање складишта и унапредити квалитет. Купци и добављачи, могу имати велики утицај на производна предузећа, нарочито у домену подстицања промена и унапређења уз побољшану размену и дељење информација (Pfohl и сарадници, 2017). Купци могу захтевати промене и унапређене производе, што може довести до потребе за имплементацијом технологија, како би се адекватно одговорило на потребе. Добављачи, који су већ имплементирали неке од технологија Индустрије 4.0, на основу чега су омогућили брже испуњење наруџбина, могу показати да имплементација ових технологија има позитивне резултате. Разлози због којих ова хипотеза није потврђена за технологије Интернет „интелигентних” уређаја и Великих података, сличне су разлозима којим се не потврђују хипотезе детерминанти СДА и СП. Предузећа треба да теже аутоматизованим активностима управљања складиштима и дигитализованој и аутоматизованој комуникацији са купцима и добављачима, како би спречиле или смањиле грешке, кварове, време и омогућиле интеграцију и праћење података у реалном времену са тачним и прецизним подацима.

- **X(1.7.9): Спољашњи фактори имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима.** Хипотеза X(1.7.9) **није потврђена**, јер није било статистички значајног утицаја СФ на НП ни у једном од модела. Спољашњи фактори као што су тржишни услови, конкуренти, државна подршка и подстицаји, као и утицај купаца и добављача, треба да доведу до иницијатива за увођење иновација у производне процесе. Међутим, непостојање статистички значајног утицаја на сва три модела може се објаснити недостатком технолошких примена код купаца и добављача, што нема утицај на предузеће да користи ту технологију. Одсуство субвенција такође не може имати позитиван утицај на предузеће да уведе и користи такву технологију. Додатно, постоји могућност да конкуренти не користе те технологије или их не сматрају корисним за производну делатност, па не подстичу њихову имплементацију у другим предузећима.
- **X(1.7.10): Унутрашњи фактори имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима.** Утицај УФ откривен је само у моделу технологије Великих података. Што су већи УФ, то је нижи НП за технологију Великих података, што је у супротности са резултатима приказаним у (Damanpour и сарадници, 2018), где је УФ имао позитиван утицај. На основу претходно наведеног, изводи се закључак да **X(1.7.10) није потврђена**. Уочени резултати могу се објаснити на следећи начин. Руководство предузећа може испољити отпор према променама или не може довољно да мотивише запослене да користе такве технологије, док се запослени обично плаше непознатог и новог, као и да ће бити замењени, што доводи до тога да се ствара отпор ка учењу примене нових технологија, посебно у ситуацијама када су запослени навикли на уобичајени начин рада (Prentice, 2022). Према истом аутору, запослени се плаше губитка контроле или чак губитка посла и пружају отпор ка променама. Додатно, имплементација технологије је веома скупа, сложена и захтева доста времена за обуку и прихватање (Ivanov и сарадници, 2020). Ово су једни од основних разлога зашто УФ не утичу позитивно на НП. Промена неких од њих треба позитивно да утиче на НП да користи ове технологије. УФ као што су запослени, руководство предузећа, иновације и промене у производним производима, треба би да доведу до иновација у производним процесима.

- **X(1.7.11): Препреке имају негативан утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима.** Хипотеза X(1.7.11) **није потврђена**, јер није било статистички значајног утицаја П на НП ни у једном од три модела. Овај резултат није био очекиван, с обзиром да препреке попут високих трошкова имплементације, недостатка финансијске подршке и стандардизације, проблеми са Интернетом и снабдевањем електричном енергијом, отпор запослених према променама, недостатак подршке државе и владе, проблеми са безбедношћу података или њиховим неовлашћеним коришћењем ван предузећа и други, обично спречавају употребу и имплементацију технологије и негативно утичу на НП технологије (Jones и сарадници, 2021). Различите врсте изазова захтевају различите методе превенције, као што су (Albukhitan, 2020): традиционални процеси – увођење модерног дигиталног решења које ће претворити процесе засноване на папиру у дигиталне; отпор према променама – предузећа треба да смање стрес запослених и дуготрајне процесе, побољшају ефикасност, омогуће рад на даљину и транспарентну комуникацију о технологији према свим запосленима; буџетска ограничења – планирање инвестиционих процеса; недостатак релевантног знања – уколико постојеће знање није довољно, ангажовање нових запослених или спољних консултаната, а не ограничавање знања само на неке запослене; безбедност – слојеви и механизми заштите морају бити постављени како би се заштитило и обезбедило од неовлашћеног преузимања података и друго. Применом неких метода превенције, могуће је смањити или потпуно уклонити неке од препрека које утичу на усвајање ових технологија.

На основу представљених резултата, може се дати одговор на истраживачко питање: „*Које детерминанте утичу на усвајање и примену технологије (Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци) у производним предузећима у Републици Србији?*“. Према резултатима сва три проширена UTAUT модела, примењених појединачно за три технологије (Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци), позитиван утицај на усвајање и примену ове три технологије утврђен је код четири детерминанте: ОУ, ДУ, ОЛУ и ТНДА. Највећи позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија (НП) има детерминанта ОЛУ, што указује на то

да предузеће треба да обезбеди неопходне ресурсе (знање, технологију, алате, уређаје) за примену ових технологија. Што се тиче негативних утицаја, две детерминанте (ОЛК и УФ) имају негативан утицај, и разликују се по технологији. Што се тиче технологије Интернет „интелигентних” уређаја, ниједна од детерминанти није имала негативан утицај. Када је у питању технологија Вештачка интелигенција, највећи негативан утицај на НП има детерминанта УФ. Ово може бити проузроковано неизвесношћу у раду са технологијама, недовољним познавањем технологија, као и недовољном спремношћу за њихово коришћење, страхом да ће технологије заменити људе у производним процесима, као и да ће утицати на смањење учешћа људи у раду. Како би се смањио негативан утицај ове детерминанте, неке од препорука су: да руководство предузећа ради на мотивисању запослених, омогућавајући обуке и подршку у току увођења и имплементације ових технологија, као и постепеном увођењу технологије, са фокусираношћу на позитивне и унапређене пословне резултате који се могу остварити применом ових технологија. Највећи негативан утицај на НП ових технологија има детерминанта ОЛК. Ово може бити узроковано технолошком сложеностју, недостатком потребних знања и вештина запослених, недостатком познавања начина примене ове технологије у свакодневном раду, као и техничким баријерама. Да би се смањио негативан утицај, могу се применити сличне препоруке као за претходну детерминанту, као и увођење поједностављених процеса и/или софтвера који би довели до лакшег и бржег прихватања и увођења технологија у производни процес.

На основу представљених резултата, могу се дефинисати различите стратегије за усвајање технологије. За све три технологије, стратегије за усвајање треба да буду улагање у инфраструктуру предузећа, подршка и доступност потребних ресурса (опreme, хардвера, софтвера, уређаја и друго), увођење *KPI* за праћење, као и дефинисање жељених вредности за индикаторе за поређење и унапређење учинка, доступност обука, презентација знања искусних запослених, како би представили колегама своје искуство и на што бољи начин приказали примену технологије, као и то да запослени буду упознати са бројним и значајним унапређењима којима ове технологије могу допринети у свакодневно пословање.

Поред тога, за технологију Интернет „интелигентних” уређаја, стратегија треба да буде усмерена ка већем степену дигитализације и аутоматизације процеса. Што се тиче технологија Вештачке интелигенције и Великих података, стратегије треба да се фокусирају на повезивање запослених и њихово умрежавање, лично или путем Интернета, организовање менторских сесија, презентација и размена искустава, где искусније колеге могу представити своје знање и савете у вези са применом ових технологија, као и кроз презентацију стварних студија случаја. Поред тога, стратегије треба да буду усмерене на смањивање и ублажавање отпора запослених према променама, а не на стварање притиска за коришћење ових технологија од стране других запослених или надређених. Запослени треба да имају транспарентну комуникацију и подршку у тежњи ка променама, као и да буду укључени у промене. Да би се омогућило успешније усвајање технологије, запослени треба да буду више мотивисани, заинтересовани и укључени у имплементацију технологије, због чега стратегије треба развијати у том правцу.

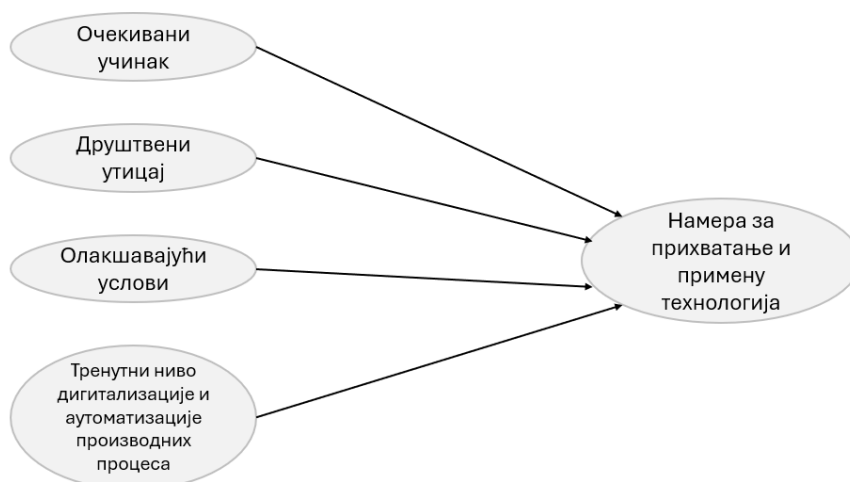
На основу представљених резултата истраживања и на основу дискусије резултата, четири од 11 подхипотеза хипотезе $X(1.7)$ је потврђено, док седам од 11 није потврђено. Међутим, с обзиром да појединачна хипотеза истраживања $X(1.7)$ гласи: *Постоје детерминанте које позитивно утичу на прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима*, а четири (ОУ, ДУ, ОЛУ и ТНДА) од 11 детерминанти имају позитиван утицај, тиме се може сматрати да је појединачна хипотеза истраживања $X(1.7)$ **потврђена**.

9. МОДЕЛ КЉУЧНИХ ДЕТЕРМИНАНТИ ПРИХВАТАЊА И ПРИМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈА ИНДУСТРИЈЕ 4.0 У ФУНКЦИЈИ УНАПРЕЂЕЊА УПРАВЉАЊА ПРОИЗВОДЊОМ

Како је приказано у поглављу шест, постоје бројне теорије и модели који се могу применити за потребе анализе прихватања технолошких иновација од стране корисника и који су, најчешће, усмерени ка детерминантама који утичу на прихватање и примену технологија. Као што је истакнуто, модел који по својим карактеристикама највише одговара анализи детерминанти намере, понашања, прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима, је *UTAUT* модел. Међутим, овај модел, са својим предефинисаним детерминантама, не обухвата све детерминанте које могу утицати на намеру за прихватање и примену ових технологија, због чега је, у претходном поглављу, представљен проширени *UTAUT* модел, са додатним детерминантама које имају утицај на намеру за прихватање и примену ових технологија.

Овај проширени *UTAUT* модел примењен је за три технологије Индустрије 4.0, Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци, а резултати и анализа су показали да само четири од 11 детерминанти има статистички значајан, али и позитиван утицај на намеру за прихватање и примену тих технологија у управљању производњом. То су детерминанте: ОУ, ДУ, ОЛУ и ТНДА, које су доказане да су статистички значајне за примену све три посматране технологије, и могу се сматрати кључним детерминантама прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом.

На основу тога, креиран је модификован *UTAUT* модел, који се може применити за потребе анализе намере за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 (Слика 32.). Модел се састоји од четири кључне детерминанте (ОУ, ДУ, ОЛУ и ТНДА) које имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0, што даље имплицира већу вероватноћу прихватања и примене технологије. Стога, овај модел представља Модел кључних детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом.



Слика 32: Модел кључних детерминанти прихватања и примене технологија
Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом

Примена овог модела могла би да буде значајна за руководиоце предузећа, запослене у производном предузећу који планирају или су у процесу имплементације неких од технологија Индустрије 4.0. Уколико предузеће планира да уведе неку технологију и тежи ка томе да запослени лакше прихвате примену те технологије, треба да утиче на Очекивани учинак (ОУ), Друштвени утицај (ДУ), Олакшавајуће услове (ОЛУ) и Тренутни ниво дигитализације и аутоматизације производних процеса (ТНДА). Она технологија за коју предложени прилагођени *UTAUT* модел да резултат да четири кључне детерминанте имају статистички значајан и позитиван утицај на намеру за прихватање и примену посматране технологије Индустрије 4.0, за ту технологију се може претпоставити да ће бити прихваћена и примењена од стране запослених, што представља важну основу за доношење одлуке о имплементацији одабране технологије у предузећу. Уколико барем једна од кључних детерминанти има негативан утицај на намеру за прихватање и примену посматране технологије Индустрије 4.0, то може указивати на постојање препрека за њено прихватање и примену. Из тог разлога је потребно анализирати могућност превазилажења тих препрека, извршити одређене техничко-технолошке и организационе промене, пре доношења одлуке о имплементацији технологије у предузећу. Уколико се не изврше неопходне промене, постоји велика могућност ниског степена прихватања технологије,

повећаних трошкова имплементације и потребних обука, као и других припадајућих трошкова.

На основу структуре и примене предложеног модификованог *UTAUT* модела, могуће је дефинисати хипотезе којима се дефинишу везе између кључних детерминанти модела и намере за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0:

X(1): Очекивани учинак има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену посматране технологије у производном предузећу.

X(2): Друштвени утицај има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену посматране технологије у производном предузећу.

X(3): Олакишавајући услови имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену посматране технологије у производном предузећу.

X(4): Тренутни ниво дигитализације и аутоматизације производних процеса има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену посматране технологије у производном предузећу.

Овај модел се такође може применити за дефинисање стратегија увођења технологија. Уколико руководиоци и запослени који су задужени за увођење технолошких иновација, као и повећање степена дигитализације и аутоматизације, пре имплементације технологије изврше добро припремљене презентације, обуке и радионице са својим запосленима, на којима ће на што бољи начин указати на значај примене одређене технологије у управљању производњом, могу допринети бољем и већем степену прихватања те технологије. На основу тога, предлози на који начин руководиоци и одговорни запослени то могу извршити су следећи:

- **Очекивани учинак (ОУ):** како би запослени тежили ка већој примени технологије, потребно је да имају сазнање колико њена примена може допринети и унапредити постојеће пословне процесе и процедуре. Уколико се, пре примене *UTAUT* модела, укаже на унапређења која могу настати увођењем посматране технологије, прикажу резултати примене те технологије у посматраном сектору (односно у управљању производњом), наведу се примери успешне примене технологије у истим или сродним индустријама, могуће је утицати на већу тежњу ка примени те технологије;

- **Друштвени утицај (ДУ):** с обзиром да се под друштвеним утицајем сматрају утицаји од стране пријатеља, породице, колега, других предузећа, па чак и конкурената, у оквиру предузећа могуће је организовати састанке на којима ће излагање о примени технологије имати корисници тих технологија у оквиру одељења, запослени који се баве истраживањем и развојем технолошких иновација, који су упућени у резултате примене ових технологија, нарочито оне позитивне. Затим, на састанцима је важно истицати примере примене главних конкурената, како би се код запослених јасно стекло сазнање да предузећа из исте или сличне области имају позитивне резултате примене, и друго. Све претходно наведено може позитивно утицати на намеру за прихватање и примену технологија, стварајући код запослених жељу да имплементирају технологију чија је примена у окружењу показала позитивне пословне резултате;
- **Олакшавајући услови (ОЛУ):** постојање одговарајуће пословне и информационо-комуникационе подршке, дефинисаних процедура за примену технологије, организованих и одржаних обука, као и постојање техничке подршке, може утицати на смањење отпора код запослених да примењују технологију. Организациона и структурна спремност предузећа може значајно утицати на став и жељу запослених за применом технологије;
- **Тренутни ниво дигитализације и аутоматизације производних процеса (ТНДА):** код предузећа која већ примењују неке од технологија Индустрије 4.0, где је могућа имплементација нове технологије, а запослени су већ обучени и припремљени за рад са новом технологијом, већа је могућност да ће одабрана технологија бити успешно прихваћена и имплементирана. Потребно је тежити организационим и структурним променама које воде ка већој дигитализацији и аутоматизацији, јер таква предузећа имају већу вероватноћу да ће запослени прихватити нову технологију.

На основу представљеног у овом потпоглављу рада, појединачна хипотеза истраживања *X(1.8): Могуће је дефинисати модел кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом*, је **потврђена**.

Представљени модел представља предлог модела кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења

управљања производњом, на основу резултата истраживања представљеног у претходном поглављу. У зависности од одабира технологије, као и типа производног предузећа (типа власништва, величине предузећа и друго), могуће је да друге детерминанте проширеног *UTAUT* модела представљеног у претходном поглављу, који се састоји од 11 детерминанти, могу имати статистички значајан, али и позитиван утицај на намеру за прихватање и примену те технологије у управљању производњом. На основу тога, могуће је дефинисати и друге моделе кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом.

10. МОДЕЛ КЉУЧНИХ ИНДИКАТОРА ПЕРФОРМАНСИ ДИГИТАЛНЕ ТРАНСФОРМАЦИЈЕ У ФУНКЦИЈИ УНАПРЕЂЕЊА УПРАВЉАЊА ПРОИЗВОДЊОМ

Као што је представљено у четвртном поглављу докторске дисертације, постоје многе технологије Индустрије 4.0 које се могу применити у управљању производњом, чијом применом се постижу многа унапређења, видљива у резултатима пословања. На основу приказаних резултата (предности и недостатака) примене технологија Индустрије 4.0 у поглављу пет докторске дисертације, може се закључити да ове технологије највише доприносе смањењу времена и трошкова, кроз скраћење времена реализације процеса производње, смањење грешака у раду, смањење потребног броја запослених за рад у неадекватним условима рада, правовременом реаговању на грешке у производњи. Последишно, то води ка смањењу трошкова производње, повећању продуктивности, унапређењу квалитета производа, смањењу количине отпада и много тога другог.

С обзиром да примена ових технологија има позитиван утицај на пословне перформансе, у поглављу седам докторске дисертације представљени су *KPI* који се примењују за мерење унапређења резултата пословања применом дигитализације, аутоматизације и савремених технологија Индустрије 4.0, односно *KPI* дигиталне трансформације (*DTKPI*). Примена *DTKPI* у производним предузећима омогућава доношење правовремених стратешких одлука, на основу којих се спроводе технолошке и организационе промене, у циљу унапређења продуктивности, ефикасности и конкурентности предузећа.

У овом поглављу представљен је скуп од 12 *DTKPI* који представља концептуални модел мерења (енгл. *Measurement Model*) промена у управљању производњом насталих применом технологија Индустрије 4.0. У предложеном моделу *DTKPI* обухваћени су индикатори којима се мере оперативне перформансе производње, као и степен дигитализације и усвајања технологија. У том смислу, термин *DTKPI* у дисертацији се користи у ширем значењу, као индикатор релевантан за праћење ефеката дигиталне трансформације. Представљени *DTKPI* могу се поделити у три групе: *DTKPI* дигиталне зрелости (индикатори којима се мери степен

имплементације, усвајања и интеграције технологија Индустије 4.0 у управљању производњом у предузећу), *DTKPI* ефикасности (којима се мери ефикасност управљања производњом применом технологија Индустије 4.0 у предузећу) и *DTKPI* ефективности (којима се мери ефективност управљања производњом применом технологија Индустије 4.0 у предузећу).

Наведене групе *DTKPI* дефинисане су за оне аспекте управљања производњом на које технологије Индустије 4.0 имају утицаја, односно које унапређују. Применом овог модела, предузећа могу да мере промене у перформансама важним са аспекта примене технологије и унапређења управљања производњом, односно ресурса, операција и процеса које се извршавају након имплементације једне или више технологија Индустије 4.0. Дефинисани *DTKPI* се мере пре и након имплементације ових технологија у производњи, и њихове вредности се пореде, изузев првог *DTKPI*. На основу тако добијених вредности, предузећа могу да установе да ли је дошло до унапређења управљања производњом након имплементације одабраних технологија Индустије 4.0. Дефинисани *DTKPI* приказани су у Табели 39.

Табела 39: Концептуални модел мерења промена (*DTKPI*) у управљању производњом насталих применом технологија Индустије 4.0

Р.б.	Група <i>DTKPI</i>	Ознака <i>DTKPI</i>	Назив <i>DTKPI</i>
1	<i>DTKPI</i> дигиталне зрелости	<i>DTKPI 1. Sut</i>	Стопа усвајања технологија у производњи
2		<i>DTKPI 2. Sdapp</i>	Стопа дигитализованих и/или аутоматизованих производних процеса
3	<i>DTKPI</i> ефективности	<i>DTKPI 3. Slpp</i>	Стопа испуњења производног плана
4		<i>DTKPI 4. OEE</i>	Укупна ефикасност опреме у производњи
5		<i>DTKPI 5. Sz</i>	Стопа застоја у производњи
6		<i>DTKPI 6. Spr</i>	Стопа повреда на раду у производњи
7		<i>DTKPI 7. SEco₂</i>	Стопа усклађености емисије гаса CO ₂ у производњи
8	<i>DTKPI</i> ефикасности	<i>DTKPI 8. Dcp</i>	Дужина циклуса производње
9		<i>DTKPI 9. TRjp_i</i>	Трошак производње по јединици производа
10		<i>DTKPI 10. Siks</i>	Стопа искоришћености капацитета средстава за рад у производњи
11		<i>DTKPI 11. Sar</i>	Стопа ангажовања радника у производњи
12		<i>DTKPI 12. Sknp_i</i>	Стопа квалитативно неусаглашених производа у производњи

10.1. DTKPI дигиталне зрелости

У овом потпоглављу представљена су два DTKPI који припадају групи DTKPI дигиталне зрелости, и то су DTKPI 1. *Sut* - Стопа усвајања технологија у производњи и DTKPI 2. *Sdapp* - Стопа дигитализованих и/или аутоматизованих производних процеса.

10.1.1. DTKPI 1. Стопа усвајања технологија у производњи - *Sut*

Од велике важности је да имплементирани технологије буду усвојене и примењене од стране запослених. Уколико овај индикатор има мању вредност, то значи да постоји проблем у усвајању, као и примењивању технологија. У тим ситуацијама је потребно анализирати узроке, као и дефинисати стратегију за превазилажење.

Основни разлози зашто технологије нису прихваћене могу бити: финансијска подршка за имплементацију и набавку опреме и уређаја (Krzywdzinski & Butollo, 2022), страх запослених да буду замењени технологијом (Çiğdem и сарадници, 2023), отпор запослених ка обукама и прихватању технологија (Freddi, 2018), потребан квалификовани кадар за имплементацију и примену технологије (Wan и сарадници, 2018) који поседују потребно знање и дигиталне вештине (Jan и сарадници, 2023) и друго.

DTKPI 1. Стопа усвајања технологија у производњи – *Sut* (енгл. *Techology Adoption Rate in Production*) је индикатор којим се мери однос укупног броја радника у производњи који су усвојили и примењују технологију и укупног броја радника у производњи, израженог у процентима. Жељена вредност овог DTKPI је да тежи што већој вредности, односно што ближе 100 [%]. Учесталост мерења је на месечном, кварталном или годишњем нивоу, у зависности од динамике увођења технологија. Формула за израчунавање DTKPI 1. *Sut* приказана је изразом (1).

$$Sut = \frac{N_{rut} [1]}{N_r [1]} * 100 [\%] \quad (1)$$

Где је:

- *Sut* – стопа усвајања технологија у производњи [%];
- *N_{rut}* – број радника у производњи који су усвојили и примењују посматрану технологију Индустрије 4.0 [1];
- *N_r* – укупан број радника у производњи [1].

10.1.2. DTKPI 2. Стопа дигитализованих и/или аутоматизованих производних процеса - *Sdapp*

Примена савремених информационо-комуникационих технологија утиче на повећање степена дигитализације и/или аутоматизације процеса. Развој производних процеса повезан је са трендовима дигитализације (Adamczak и сарадници, 2023), док примена ових технологија омогућава унапређење управљања производњом (Sujová и сарадници, 2019).

DTKPI 2. Стопа дигитализованих и/или аутоматизованих производних процеса - Sdapp (енгл. *Digitalized and/or Automated Production Process Rate*) је индикатор којим се мери однос броја производних процеса који су дигитализовани и/или аутоматизовани применом једне или више технологија Индустрије 4.0 имплементираних у производњи и укупног броја производних процеса, у посматраном предузећу, изражено у процентима. Жељена вредност овог *DTKPI* је да тежи што већој вредности, односно што ближе 100 [%]. Учесталост мерења је на месечном, кварталном или годишњем нивоу, у зависности од динамике увођења технологија. Формула за израчунавање *DTKPI 2. Sdapp* приказана је изразом (2).

$$Sdapp = \frac{Ndapp [1]}{Npp [1]} * 100 [\%] \quad (2)$$

Где је:

- *Sdapp* – стопа дигитализованих и/или аутоматизованих производних процеса [%];
- *Ndapp* – број дигитализованих и/или аутоматизованих производних процеса [1];
- *Npp* – укупан број производних процеса [1].

Како би се дошло до закључка да ли је примена технологија Индустрија 4.0 допринела унапређењу управљања производњом, потребно је да се вредност овог индикатора измери након примене технологија и упоређи са вредношћу тог индикатора пре примене технологија. Формула на основу које се израчунава вредност остварене промене ове стопе, приказана је изразом (3).

$$OPSDapp = \left(\frac{NSdapp [\%]}{PSdapp [\%]} - 1 \right) * 100 [\%] \quad (3)$$

Где је:

- *OPSDapp* – остварена промена стопе дигитализованих и/или аутоматизованих производних процеса [%];
- *NSdapp* – стопа дигитализованих и/или аутоматизованих производних процеса након примене технологије Индустрије 4.0 [%];
- *PSdapp* – стопа дигитализованих и/или аутоматизованих производних процеса пре примене технологије Индустрије 4.0 [%].

Уколико је измерена вредност већа од 0 [%], то указује да је примена технологија Индустрије 4.0 допринела, у одређеној мери, повећању дигитализације и аутоматизације у производњи, док вредност једнака или мања од 0 [%] указује да нема унапређења.

10.2. DTKPI ефективности

У овом потпоглављу је представљено пет *DTKPI* који припадају групи *DTKPI* ефективности, а то су: *DTKPI* 3. *SIpp* - Стопа испуњења производног плана, *DTKPI* 4. *OEE* - Укупна ефикасност опреме у производњи, *DTKPI* 5. *Sz* - Стопа застоја у производњи, *DTKPI* 6. *Spr* - Стопа повреда на раду у производњи и *DTKPI* 7. *SECO₂* - Стопа усклађености емисије гаса CO₂ у производњи.

10.2.1. DTKPI 3. Стопа испуњења производног плана - *SIpp*

Производни план представља документ у ком се наводи шта се производи, када се производи, у којој количини и помоћу којих средстава за рад (Омербеговић-Бијеловић, 2006). Овај план се креира, у савременим условима пословања, у складу са захтевима купаца и доступним ресурсима у производњи.

Применом технологија Индустрије 4.0 могуће је утицати на повећање вредности степена испуњења производног плана. На пример, технологије Сајбер-физички системи омогућавају ефикасан и ефективан процес производње, као и повећану продуктивност (Kannengiesser и сарадници, 2021), технологије Роботи смањују број грешака у производњи што омогућава већу стопу остварења производног плана (Leutert и сарадници, 2024), технологије Проширене стварности утичу на повећање

брзине и прецизност рада радника (Husár & Knapčíková, 2021), технологије Вештачке интелигенције омогућавају планирање на основу историјских података, чиме се скраћује време и омогућава прецизније креирање плана производње, као и креирање наруџбеница (Peres и сарадници, 2020; Strandhagen и сарадници, 2017) и друго.

DTKPI 3. Стопа испуњења производног плана - *SIpp* (енгл. *Production Plan Fullfilment Rate*) представља индикатор којим се мери испуњење производног плана, након завршетка производног процеса. Вредност овог *DTKPI* исказана је у процентима и мери се као однос укупно произведене и планиране количине производа, према одређеном производном плану. Жељена вредност овог *DTKPI* је да тежи што већој вредности, односно што ближе 100 [%]. Учесталост мерења је по смени, на дневном, недељном или месечном нивоу. Формула за израчунавање *DTKPI 3*. *SIpp* приказана је изразом (4).

$$SIpp = \frac{Qp \text{ [к.ј.]}}{Qpp \text{ [к.ј.]}} * 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

Где је:

- *SIpp* – стопа испуњења производног плана [%];
- *Qp* – укупно произведена количина производа према производном плану [к.ј.];
- *Qpp* – планирана количина производа за производњу према производом плану [к.ј.].

Да би се дошло до закључка да ли је примена технологија Индустрија 4.0 допринела унапређењу управљања производњом, неопходно је измерити вредност овог индикатора након примене технологија и упоредити са вредношћу тог индикатора пре примене технологија. Формула којом се израчунава остварена вредност промене ове стопе, приказана је изразом (5).

$$OPSIpp = \left(\frac{NSIpp \text{ [%]}}{PSIpp \text{ [%]}} - 1 \right) * 100 \text{ [%]} \quad (5)$$

Где је:

- *OPSIpp* – остварена промена стопе испуњења производног плана [%];
- *NSIpp* – стопа испуњења производног плана након примене технологије Индустрије 4.0 [%];

- *PSIpp* – стопа испуњења производног плана пре примене технологије Индустрије 4.0 [%].

Ако је измерена вредност већа од 0 [%], то указује да је примена технологија Индустрије 4.0, у одређеној мери, позитивно утицала на унапређење испуњења производног плана, док вредност једнака или мања од 0 [%] указује да до унапређења није дошло.

10.2.2. DTKPI 4. Укупна ефикасност опреме у производњи - OEE

DTKPI 4. Укупна ефикасност опреме у производњи - OEE (енгл. *Overall Equipment Effectiveness*) представља индикатор којим се, у производњи, мери ефикасност машина, опреме и производне линије (Muchiri & Pintelon, 2008) и сматра се једним од најважнијих индикатора у производњи (Huang и сарадници, 2003). У пракси је овај индикатор модификован у зависности од области примене (Muchiri & Pintelon, 2008): укупна ефикасност фабрике (енгл. *Overall Plant Effectiveness - OPE*), ефикасност производне опреме (енгл. *Production Equipment Effectiveness - PEE*) и укупна ефикасност средстава за рад (енгл. *Overall Asset Effectiveness - OAE*).

Вредност индикатора *OEE* од 100 [%] сматра се идеалном, односно то је производња без застоја и квалитативно неусаглашених производа, док се вредност изнад 85 [%] сматра вредношћу којој свако предузеће треба да тежи (Leflar, 2001). Вредност од око 60 [%] представља просечну остварену вредност овог индикатора у производним предузећима (Gupta & Garg, 2012), док се вредност испод 40 [%] сматра ниском вредношћу, и потребно је тежити ка њеном повећању (Ahmed, 2013).

Губици који се односе на расположивост, перформансе и квалитет, на основу којих се мери *OEE*, могу се класификовати у „шест великих губитака” (Nakajima, 1988): смањена продуктивност због лошег квалитета производа, прилагођавање производног плана промени производног асортимана, губици у производњи због привремених кварова, разлике у пројектованој и оствареној брзини рада средстава за рад, оштећења узрокована неисправном опремом, губици у унутрашњем транспорту и губици у продуктивности у раној фази производње. Међутим, примена технологија Индустрије 4.0 утиче на смањење тих губитака и повећање

вредности индикатора *OEE*. На пример: технологије Интернет „интелигентних” уређаја омогућавају унапређену контролу квалитета производа, детекцију грешака и правовремену реакцију на њих у производњи (Mourtzis и сарадници, 2018; Schöggel и сарадници, 2023), технологије Роботи смањују потрошњу енергије и времена, као и трошкова у производњи, повећавајући ефикасност рада (Leutert и сарадници, 2024), технологије Проширене стварности и Виртуелне стварности омогућавају даљинско управљање аутоматизованом и роботизованом производњом, чиме се смањује време реаговања на грешке, људске грешке и трошкови по запосленом, а повећава прецизност рада (Ambrogio и сарадници, 2022; Frank и сарадници, 2019) и друго. Жељена вредност овог *DTKPI* је да тежи што већој вредности. Учесталост мерења је по смени, на дневном, недељном или месечном нивоу, како би се правовремено увиделе промене у укупној ефикасности опреме и, по потреби, предузеле мере за унапређење. Формула за израчунавање *DTKPI* 4. *OEE* приказана је изразом (6). Формуле за израчунавање укупне ефикасности опреме у производњи, као и чинилаца формуле, преузети су из (Muchiri & Pintelon, 2008).

$$OEE = A * P * Q [\%] \quad (6)$$

У изразима (7-10) приказане су формуле за израчунавање чинилаца формуле (6).

$$A = \frac{T_o [v.j.]}{T_{pp} [v.j.]} * 100 [\%] \quad (7)$$

$$P = \frac{T_{pjk} [v.j.] * Q[k.j.]}{T_o [v.j.]} * 100 [\%] \quad (8)$$

$$Q = \frac{Q_{uk[k.j.]} - Q_{knp[k.j.]}}{Q_{uk[k.j.]}} * 100 [\%] \quad (9)$$

$$T_o = T_{pp} [v.j.] - T_z [v.j.] \quad (10)$$

Где је:

- *OEE* – укупна ефикасност опреме у производњи [%];
- *A* – расположивост (енгл. *Availability*) [%], израчунава се према формули (7);
- *P* – перформанса (енгл. *Performance*) [%], израчунава се према формули (8);
- *Q* – квалитет (енгл. *Quality*) [%], израчунава се према формули (9);

- To – оперативно време, односно време извођења операција [в.ј.], израчунава се према формули (10);
- Trp – планирано време производње [в.ј.];
- $Trjk$ – време потребно за производњу једног комада производа, према нормативу [в.ј.];
- Quk – укупна произведена количина производа [к.ј.];
- $Qknp$ – количина оштећених, односно квалитативно неусаглашених производа [к.ј.];
- Tz – време застоја [в.ј.].

Како би се дошло до закључка да ли је примена технологија Индустрија 4.0 допринела унапређењу управљања производњом, потребно је да се вредност овог индикатора измери након примене технологија и упореди са вредношћу тог индикатора пре примене технологија. Формула на основу које се израчунава вредност остварене промена ове стопе, приказана је изразом (11).

$$OPOEE = \left(\frac{NOEE [\%]}{POEE [\%]} - 1 \right) * 100 [\%] \quad (11)$$

Где је:

- $OPOEE$ – остварена промена укупне ефикасности опреме у производњи [%];
- $NOEE$ – укупна ефикасност опреме у производњи након примене технологије Индустрије 4.0 [%];
- $POEE$ – укупна ефикасност опреме у производњи пре примене технологије Индустрије 4.0 [%].

Уколико је измерена вредност већа од 0 [%], то указује да је примена технологија Индустрије 4.0 допринела, у одређеној мери, унапређењу укупне ефикасности опреме, док вредност једнака или мања од 0 [%] указује да нема унапређења.

10.2.3. DTKPI 5. Стопа застоја у производњи – Sz

У производњи долази до застоја због одређених пропуста или грешака које се дешавају у основним производним потпроцесима (оперативна производња,

транспорт, контрола, управљање залихама, снабдевање), у управљању материјалима, средствима за рад, због грешака проузрокованих од стране радника, грешака насталих због организационих недостатака или услед више силе (попут поплава, земљотреса, нестанка електричне енергије и друго), као и због чекања на материјал, документацију, информације, алат, флуид, енергију, воду, раднике, ослобађање машине од претходног посла, и друго (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015; Омербеговић-Бијеловић, 2006).

Значај примене технологија Индустрије 4.0 у смањењу различитих врста застоја у производњи је велики. На пример: примене технологија Сајбер-физички системи, омогућавају ефикасан и ефективан процес производње (Kannengiesser и сарадници, 2021), примене технологија Интернет „интелигентних” уређаја утиче на бржу детекцију грешака и правовремену реакцију (Belli и сарадници, 2019), примене технологија Робота доприноси прецизнијој производњи са смањеним бројем грешака (Wan и сарадници, 2018), примене технологија Вештачке интелигенције утиче на унапређење контроле производних процеса, као и нула застоја (Bag и сарадници, 2021; dos Santos и сарадници, 2021) и друго.

DTKPI 5. Стопа застоја у производњи – *Sz* (енгл. *Production Downtime Rate*) је индикатор којим се мери однос укупног времена застоја у току производног процеса и укупног времена трајања производног процеса, израженог у процентима. Жељена вредност овог *DTKPI* је да тежи што мањој вредности, односно да буде што ближе 0 [%]. Учесталост мерења је на нивоу радне смене, дневном нивоу, али се може мерити и на недељном и месечном нивоу. Формула за израчунавање *DTKPI 5. Sz* приказана је изразом (12).

$$Sz = \frac{\sum_{z=1}^Z T_z [\text{в.ј.}]}{Tp [\text{в.ј.}]} * 100 [\%] \quad (12)$$

Где је:

- *Sz* – стопа застоја у производњи [%];
- *T_z* – време застоја *z* у производњи [в.ј.];
- *T_p* – укупно време трајања производње [в.ј.];
- *z* – врста застоја, за *z*=1, ...*Z*.

Да би се дошло до закључка да ли је примена технологија Индустрија 4.0 допринела унапређењу управљања производњом, неопходно је измерити вредност овог индикатора након примене технологија и упоредити са вредношћу тог индикатора пре примене технологија. Формула којом се израчунава остварена вредност промене ове стопе, приказана је изразом (13).

$$OPSz = (1 - \frac{NSz [\%]}{PSz [\%]}) * 100 [\%] \quad (13)$$

Где је:

- $OPSz$ – остварена промена стопе застоја у производњи [%];
- NSz – стопа застоја у производњи након примене технологија Индустрије 4.0 [%];
- PSz – стопа застоја у производњи пре примене технологија Индустрије 4.0 [%].

Ако је измерена вредност већа од 0 [%], то указује да је примена технологија Индустрије 4.0 допринела, у одређеној мери, смањењу времена застоја у производњи, док вредност једнака или мања од 0 [%] указује да до унапређења није дошло.

10.2.4. DTKPI 6. Стопа повреда на раду у производњи – *Spr*

Поведа на раду дефинише се као „изненадни догађај на раду који узрокује физичку или менталну повреду” (Nowacki, 2021). Подразумева сваки догађај који се односи на рад, а који се догодио у просторијама радног места, као и ван њега, на пример, несрећа на путу у доласку или одласку из предузећа (European Agency for Safety and Health at Work, 2020). Међутим, за потребе мерења овог индикатора, посматрају се само повреде на раду настале у производњи. Вредности овог индикатора објављују се на годишњем нивоу од стране завода за статистику, као део анализе стања безбедности на раду у предузећима, на нивоу државе (Nowacki, 2021).

У производњи где су примењене технологије Роботи смањене су повреде и ризици на раду (Gualtieri и сарадници, 2021), применом технологија Проширене стварности и Виртуелне стварности повећана је безбедност на раду, омогућена подршка за даљинско одржавање, као и смањен број повреда на раду (Ambrogio и сарадници, 2022; Yildiz и сарадници, 2021) и друго.

DTKPI 6. Стопа повреда на раду у производњи - *Spr* (енгл. *Occupational Injury Rate in Production*) је индикатор којим се мери однос укупног броја повреда на раду радника и укупног броја ангажованих радника у производњи, изражено у процентима. Жељена вредност овог *DTKPI* је да тежи што мањој вредности, односно што ближе 0 [%]. Учесталост мерења је на месечном, кварталном или годишњем нивоу. Формула за израчунавање *DTKPI 6. Spr* приказана је изразом (14).

$$Spr = \frac{Npr [1]}{Nar [1]} * 100 [\%] \quad (14)$$

Где је:

- *Spr* – стопа повреда на раду у производњи [%];
- *Npr* – укупан број повреда на раду радника у производњи [1];
- *Nar* – укупан број ангажованих радника у производњи [1].

Како би се дошло до закључка да ли је примена технологија Индустрија 4.0 допринела унапређењу управљања производњом, потребно је да се вредност овог индикатора измери након примене технологија и упореди са вредношћу тог индикатора пре примене технологија. Формула на основу које се израчунава остварена вредност промене ове стопе, приказана је изразом (15).

$$OPSpr = (1 - \frac{NSpr [\%]}{PSpr [\%]}) * 100 [\%] \quad (15)$$

Где је:

- *OPSpr* – остварена промена стопе повреда на раду у производњи [%];
- *NSpr* – стопа повреда на раду у производњи након примене технологија Индустрије 4.0 [%];
- *PSpr* – стопа повреда на раду у производњи пре примене технологија Индустрије 4.0 [%].

Уколико је измерена вредност већа од 0 [%], то указује да је примена технологије Индустрије 4.0 допринела, у одређеној мери, смањењу повреда на раду, док вредност једнака или мања од 0 [%] указује да нема унапређења.

10.2.5. DTKPI 7. Стопа усклађености емисије гаса CO₂ у производњи – SEco₂

Индустријализација доводи до повећања ослобађања штетних гасова (Ritchie & Roser, 2017). У зависности од типа производње, у производним погонима могу се емитовати различите врсте гасова, који стварају „Ефекат стаклене баште”, негативно утичу на животну околину, као и на квалитет, здравље и живот људи и других живих бића, са највећим утицај на оне који су у непосредној околини производње. Због велике количине сагоревања, у производњи се највише емитује штетан гас угљен-диоксид (CO₂) и бележе се велика повећања у емисији овог гаса (Olivier и сарадници, 2020). Према подацима из извештаја (Olivier & Peters, 2020), највише овог гаса емитује се при производњи електричне енергије, чак 36 [%]. Од '70-их година XX века, бележи се годишњи раст емисије овог гаса, од 1,6 [%] до 3,2 [%], што је у директној зависности од сировина које се примењују у производном процесу (Flower & Sanjayan, 2007).

Примена технологија Индустрије 4.0 утиче на смањење емисије штетних гасова у производњи, омогућава производњу струје из обновљивих извора, чиме се замењује употреба природног гаса и угља и смањује емисија штетних гасова (Olivier & Peters, 2020). Потребно је истовремено применити неколико технологија Индустрије 4.0, како би се успешно смањила емисија штетних гасова (Yoro & Daramola, 2020).

DTKPI 7. Стопа усклађености емисије гаса CO₂ у производњи – SEco₂ (енгл. CO₂ Emissions Compliance Rate in Production) примењује се да се измери однос емисије остварене и дозвољене количине гаса CO₂ у производњи, изражено у процентима. Жељена вредност овог DTKPI је мање од 100 [%]. Учесталост мерења је на дневном или недељном нивоу. Формула за израчунавање DTKPI 7. SEco₂ приказана је изразом (16).

$$SE_{CO_2} = \frac{OE_{CO_2} [kg]}{DE_{CO_2} [kg]} * 100 [\%] \quad (16)$$

Где је:

- SEco₂ – стопа усклађености емисије гаса у производњи CO₂ [%];
- OEco₂ – остварена емисија гаса CO₂ у производњи [kg];
- DEco₂ – дозвољена емисија гаса CO₂ у производњи [kg].

Да би се дошло до закључка да ли је примена технологија Индустрија 4.0 допринела унапређењу управљања производњом, неопходно је измерити вредност овог индикатора након примене технологија и упоредити са вредношћу тог индикатора пре примене технологија. Формула којом се израчунава остварена вредност промене ове стопе, приказана је изразом (17).

$$OPSE_{CO_2} = \left(1 - \frac{NSE_{CO_2} [\%]}{PSE_{CO_2} [\%]}\right) * 100 [\%] \quad (17)$$

Где је:

- $OPSE_{CO_2}$ – остварена промена стопе усклађености емисије гаса CO_2 у производњи [%];
- NSE_{CO_2} – стопа усклађености емисије гаса CO_2 у производњи након примене технологија Индустрије 4.0 [%];
- PSE_{CO_2} – стопа усклађености емисије гаса CO_2 у производњи пре примене технологија Индустрије 4.0 [%].

Уколико је измерена вредност већа од 0 [%], то указује да је примена технологије Индустрије 4.0 допринела, у одређеној мери, смањењу стопе емисије гаса CO_2 у производњи, док вредност једнака или мања од 0 [%] указује да до унапређења није дошло.

10.3. DTKPI ефикасности

У овом потпоглављу је представљено пет DTKPI који припадају групи DTKPI ефикасности, а то су: DTKPI 8. *Dcp* – Дужина циклуса производње, DTKPI 9. *Trjp_l* - Трошак производње по јединици производа, DTKPI 10. *Siks* - Стопа искоришћености капацитета средстава за рад у производњи, DTKPI 11. *Sar* - Стопа ангажовања радника у производњи и DTKPI 12. *Sknp_l* - Стопа квалитативно неусаглашених производа у производњи.

10.3.1. DTKPI 8. Дужина циклуса производње - *Dcp*

Циклус производње представља време обраде сировине у готов производ и

обухвата „временски период од прве до последње операције израде производа или серије“ (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015). Рачуна се као збир времена производње, односно извршавања свих операција, транспорта, чекања и одржавања свих машина (Омербеговић-Бијеловић, 2006).

Примена технологија Индустрије 4.0 омогућава уштеду у времену реализације производног процеса. На пример: примена технологије Дигиталног близанца омогућавају симулацију операција и процеса без застоја у раду машина и производних линија у производњи, на основу којих је могуће одабрати начин извођења операција који ће остварити највећу уштеду и повећати продуктивност (Сујовá и сарадници, 2019), примена технологија Интернет „интелигентних“ уређаја, Сајбер-физичких система и Великих података омогућава праћење података о производњи у реалном времену, као и правовремено реаговање на застоје, неефикасност и проблеме који настану у производном процесу (Gaber и сарадници, 2018; Ghobakhloo, 2019), технологије Роботи извршавају операције са више понављања, без или са минимумом грешака, чиме се скраћује време производње (Caular и сарадници, 2016), и друго.

DTKPI 8. Дужина циклуса производње - *Dcp* (енгл. *Production Cycle Time*) је индикатор којим се мери укупно време трајања једног производног процеса. Жељена вредност овог *DTKPI* зависи од типа производње и врста производа, али је тежња да буде што мања. Учесталост мерења је по производном процесу. На основу формуле за израчунавање циклуса производње преузете из (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015), формула за израчунавање *DTKPI 8. Dcp* приказана је изразом (18).

$$Dcp = \sum_{i=1}^n To_i \text{ [в. ј.]} + Tkk \text{ [в. ј.]} + Tut \text{ [в. ј.]} + Ts \text{ [в. ј.]} + Tg \text{ [в. ј.]} + \sum_{i=1}^n Tu_i \text{ [в. ј.]} \quad (18)$$

Где је:

- *Dcp* – дужина циклуса производње [в.ј.];
- *To_i* – време трајања операције *i* у посматраном производном процесу [в.ј.];
- *Tkk* – време контроле квалитета у посматраном производном процесу [в.ј.];
- *Tut* – време трајања унутрашњег транспорта у посматраном производном процесу [в.ј.];
- *Ts* – време складиштења у посматраном производном процесу [в.ј.];

- Tg – укупно време губитака (застоји, чекање, одржавање машина) у посматраном производном процесу [в.ј.];
- Tu_i – време усклађивања рокова по операцији i у посматраном производном процесу [в.ј.];
- i – операција, за $i=1, \dots, n$.

Како би се дошло до закључка да ли је примена технологија Индустрија 4.0 допринела унапређењу управљања производњом, потребно је да се вредност овог индикатора измери након примене технологија и упоређи са вредношћу тог индикатора пре примене технологија. Формула на основу које се израчунава вредност остварене промене ове стопе, приказана је изразом (19).

$$OPDcp = (1 - \frac{NDcp [в.ј.]}{PDcp [в.ј.]}) * 100 [\%] \quad (19)$$

Где је:

- $OPDcp$ – остварена промена дужине циклуса производње [%];
- $NDcp$ – дужина циклуса производње након примене технологија Индустрије 4.0 [в.ј.];
- $PDcp$ – дужина циклуса производње пре примене технологија Индустрије 4.0 [в.ј.].

Уколико је измерена вредност већа од 0 [%], то указује да је примена технологија Индустрије 4.0 допринела, у одређеној мери, смањењу дужине циклуса производње, док вредност једнака или мања од 0 [%] указује да нема унапређења.

10.3.2. DTKPI 9. Трошак производње по јединици производа – $TRjpr$

„Трошкови неког производа су вредносни (новчани) износ трошења елемената производње при његовом настајању и одговарајућих набавних цена” (Омергеговић-Бијеловић, 2006). Укупни трошкови производње посматране количине одређеног производа рачунају се као збир фиксних трошкова (трошкови застоја, кварова, непроизводног рада, коришћења простора, амортизације, одржавања, грејања, воде, осветљења и друго) и варијабилних трошкова (трошкови материјала, флуида, енергије, рада, алата и друго) (Омербеговић-Бијеловић, 2006).

Применом технологија Дигиталних близанаца, симулацијом различитих пословних ситуација, може се унапредити и убрзати постојећи производни процес, омогућити рад без застоја у производњи, као и спречити грешке и откази у раду, што утиче на смањење трошкова у производњи (Бабић и сарадници, 2020), док се применом технологија Интернет „интелигентних” уређаја, Сајбер-физичких система, Робота, Проширене стварности и Виртуелне стварности, смањују трошкови у производњи (Leutert и сарадници, 2024; Mahmood и сарадници, 2019; Mourtzis и сарадници, 2018; Yildiz и сарадници, 2021).

DTKPI 9. Трошак производње по јединици производа - $TRjp_l$ (енгл. *Production Cost per Unit*) је индикатор којим се мери трошак производње по једном производу из посматране количине произведених производа. Рачуна се као однос укупних трошкова (фиксних и варијабилних) производње посматране количине одређене врсте производа и укупне количине произведених производа те врсте, изражено у новчаним јединицама по јединици производа. Жељена вредност овог *DTKPI* је да тежи што мањој вредности. Учесталост мерења је по производном процесу. Формула за израчунавање *DTKPI 9*. $TRjp_l$ приказана је изразом (20).

$$TRjp_l = \frac{(FTR_l + VTR_l) \text{ [н.ј.]}}{Q_l \text{ [к.ј.]}} \quad (20)$$

Где је:

- $TRjp_l$ – трошак производње по јединици производа $l \left[\frac{\text{н.ј.}}{\text{к.ј.}} \right]$;
- FTR_l – укупан фиксни трошак производње посматране количине производа l [н.ј.];
- VTR_l – укупан варијабилни трошак производње посматране количине производа l [н.ј.];
- Q_l – укупна количина произведених производа l [к.ј.];
- l – производ, за $l=1, \dots, q$.

Да би се дошло до закључка да ли је примена технологија Индустрија 4.0 допринела унапређењу управљања производњом, неопходно је измерити вредност овог индикатора након примене технологија и упоредити са вредношћу тог индикатора пре примене технологија. Формула којом се израчунава остварена вредност промене ове стопе, приказана је изразом (21).

$$OPTRjp_l = \left(1 - \frac{NTRjp_l \left[\frac{n.j.}{k.j.}\right]}{PTRjp_l \left[\frac{n.j.}{k.j.}\right]}\right) * 100 [\%] \quad (21)$$

Где је:

- $OPTRjp_l$ – остварена промена трошка производње по јединици производа l [%];
- $NTRjp_l$ – трошак производње по јединици производа након примене технологија Индустије 4.0 $\left[\frac{n.j.}{k.j.}\right]$;
- $PTRjp_l$ – трошак производње по јединици производа пре примене технологија Индустије 4.0 $\left[\frac{n.j.}{k.j.}\right]$.

Уколико је измерена вредност већа од 0 [%], то указује да је примена технологија Индустије 4.0 допринела, у одређеној мери, смањењу трошка производње по јединици производа, док вредност једнака или мања од 0 [%] указује да до унапређења није дошло.

10.3.3. DTKPI 10. Стопа искоришћености капацитета средстава за рад у производњи - *Siks*

Капацитет у индустрији представља: „Способност (техничку и економску), употребљивост и производну могућност средстава за рад и људског рада, појединачно и укупно посматрано, прорачунато према важећим нормама”, док се под коришћењем капацитета подразумева: „рационално искоришћавање могућности средстава за рад и људског рада, користећи одговарајућу технологију и организацију пословних процеса” (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015). За овај DTKPI посматра се капацитет средстава за рад, јер се примена технологија Индустије 4.0 односи на унапређење ефикасности и ефективности средстава за рад.

Средства за рад представљају „ресурсе предузећа који се користе у више пословних обрта, постепено губећи (преношењем на нове излазе – производе и/или услуге) употребну вредност” (Омербеговић-Бијеловић, 2006). Постоје четири врсте капацитета (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015): уграђени, расположиви, потребни и искоришћени капацитет. Уграђени капацитет представља највећи могући капацитет посматраног средства за рад предвиђен конструкционо-технолошком документацијом. Расположиви капацитет је уграђени капацитет умањен у зависности

од број радних дана у години, радних смена у току дана, организационих губитака, као и губитака насталих под утицајем виших сила. Потребни капацитет представља капацитет који је потребан за реализацију плана производње. Искоришћени капацитет представља остварени (искоришћени) капацитет средстава за рад у току реализације производног процеса.

DTKPI 10. Стопа искоришћености капацитета средстава за рад у производњи - *Siks* (енгл. *Production Assets Capacity Utilization Rate*) је индикатор којим се мери однос искоришћеног и расположивог капацитета, на основу чега је могуће закључити колика је искоришћеност средстава за рад. Жељена вредност овог *DTKPI* је да буде што ближе 100 [%]. Учесталост мерења је по смени, на дневном или недељном нивоу, али може се мерити и на дужем временском периоду, на месечном, кварталном и годишњем нивоу. На основу формула за рачунање искоришћеног и расположивог капацитета средстава за рад у производњи преузетих из (Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015), формула за израчунавање *DTKPI 10*. *Siks* приказана је изразом (22).

$$Siks = \sum_{s=1}^S \left(\frac{\sum_{rm=1}^{RM} \sum_{l=1}^q Q_l * to_{lrm} [h/год]}{(\sum_{rm=1}^{RM} n * dg * \check{s} * bs - \sum_{g=1}^4 G_g) [h/год]} \right) s * 100 [\%] \quad (22)$$

Где је:

- *Siks* – стопа искоришћености капацитета средстава за рад у производњи [%];
- Q_l – произведена количина производа l [к.ј./год];
- to_{lrm} – остварено време у часовима рада на радном месту rm за јединицу производа l [h/к.ј.];
- dg – број дана у години (умањени за дане празника и недеље као дане одмора) [дан/год];
- $\check{s}$ – број часова у току радне смене [дан/смена];
- bs – највећи могући број смена у дану, у зависности од могућности и услова [1];
- G_g – губици у времену типа g [h/год];
- n – број радних места исте врсте у производњи [1];
- s – средство за рад, за $s=1, \dots, S$;
- rm – радно место, за $rm=1, \dots, RM$;
- l – врста производа, за $l=1, \dots, q$;
- g – тип губитака у производњи, за $g=1,2,3,4$, где је: $g=1$ (стандардни губици у

времену услед одржавања), $g=2$ (стандардни губици у времену услед изостанака радника са посла, флукуације, боловања, годишњих одмора, других оправданих и неоправданих разлога), $g=3$ (стандардни организациони губици у времену на радним местима у производњи) и $g=4$ (губици у времену због спољних природних техничких и економских утицаја који су резултат виших сила).

Како би се дошло до закључка да ли је примена технологија Индустрија 4.0 допринела унапређењу управљања производњом, потребно је да се вредност овог индикатора измери након примене технологија и упоређи са вредношћу тог индикатора пре примене технологија. Формула на основу које се израчунава вредност остварене промена ове стопе, приказана је изразом (23).

$$OPSiks = \left(\frac{NSiks [\%]}{PSiks [\%]} - 1 \right) * 100 [\%] \quad (23)$$

Где је:

- *OPSiks* – остварена промена стопе искоришћености капацитета средстава за рад у производњи [%];
- *NSiks* – стопа искоришћености капацитета средстава за рад у производњи након примене технологија Индустрије 4.0 [%];
- *PSiks* – стопа искоришћености капацитета средстава за рад у производњи пре примене технологија Индустрије 4.0 [%].

Уколико је измерена вредност већа од 0 [%], то указује да је примена технологија Индустрије 4.0 допринела, у одређеној мери, повећању стопе искоришћености капацитета средстава за рад, док вредност једнака или мања од 0 [%] указује да нема унапређења.

10.3.4. DTKPI 11. Стопа ангажовања радника у производњи - *Sar*

У зависности од начина и врсте производње, као и степена дигитализације и аутоматизације, у производњи је потребно ангажовати одређени број радника који ће обављати одређене радне задатке. За планирање потребног броја радника потребно је користити план обима и асортимана производње, као и нормативе рада

(Лечић-Цветковић и Атанасов, 2015). Планирање потреба за радницима врши се на годишњем нивоу, како би се обезбедио довољан број радника који, по стручности, могу остварити планирани обим производње (Омербеговић-Бијеловић, 2006).

Примена технологија Индустрије 4.0 смањује време извршавања задатака, повећава продуктивност запослених и помаже запосленима да обаве више радних задатака за мање времена (Gami & Jain, 2022). Додатно, примена ових технологија утиче на смањење потребног броја радника, јер технологија може да замени људску радну снагу у одређеним операцијама. На пример: технологије Роботи могу заменити запослене у пословима са великим бројем понављања, извршавању операција високог ризика и операција за које је потребан велики физички напор или рад у нехуманим радним условима (Caular и сарадници, 2016), технологије Виртуелне стварности могу се применити за потребе обучавања радника, као и тестирања прототипова (Berg & Vance, 2017; Hamid и сарадници, 2014; Mujiher и сарадници, 2004) и друго.

DTKPI 11. Стопа ангажовања радника у производњи - Sar (енгл. *Employee Engagement Rate in Production*) је индикатор којим се мери однос броја ангажованих радника у производњи и укупног броја радника потребног у производњи, изражено у процентима. Жељена вредност овог *DTKPI* је да тежи што мањој вредности. Учесталост мерења је на годишњем нивоу, али се може мерити и на нивоу смене, радног дана, радне недеље, месечном или кварталном нивоу, како би се правовремено увидела промена у стопи ангажованих радника. На основу формула за израчунавање искоришћеног капацитета ангажованих радника и потребног броја радника у производњи, у посматраном периоду од годину дана, преузетих из (Heizer и сарадници, 2020; Омербеговић-Бијеловић, 2006), формула за израчунавање *DTKPI 11. Sar* приказана је изразом (24).

$$Sar = \frac{Nar [1/год]}{\frac{\sum_{l=1}^q \sum_{k=1}^K Qp_l * nr_{lk}}{rd_k * bs_k * cs_k + v_k - g_k} [1/год]} * 100 [\%] \quad (24)$$

Где је:

- *Sar* – стопа ангажовања радника у производњи [%];
- *Nar* – укупан број ангажованих радника у производњи за планирани обим производње у посматраном периоду [1/год];

- Qp_l – планирана количина производа l коју предузеће планира да произведе у посматраном периоду [к.ј./год];
- nr_{lk} – норматив рада радника k -те врсте по јединици производа l [h/к.ј.];
- rd_k – број радних дана радника k -те врсте у посматраном периоду [дан/год];
- bs_k – број смена у којима раде радници k -те врсте у посматраном периоду [1/дан];
- $čs_k$ – број часова рада у једној радној смени радника k -те врсте [h];
- v_k – стандардно извршење норме рада, односно пребачај или подбачај годишњег фонда радних сати радника k -те врсте [h/год];
- g_k – стандардни годишњи временски губици радника k -те врсте, попут: организациони недостаци, флукуација запослених, боловања, оправдани и неоправдани изостанци са посла и друго [h/год];
- l – врста производа, за $l=1, \dots, q$;
- k – стручност радника, за $k=1, \dots, K$.

Да би се дошло до закључка да ли је примена технологија Индустрија 4.0 допринела унапређењу управљања производњом, неопходно је измерити вредност овог индикатора након примене технологије и упоредити са вредношћу тог индикатора пре примене технологија. Формула којом се израчунава остварена вредност промена ове стопе, приказана је изразом (25).

$$OPSar = (1 - \frac{NSar [\%]}{PSar [\%]}) * 100 [\%] \quad (25)$$

Где је:

- $OPSar$ – остварена промена стопе ангажовања радника у производњи [%];
- $NSar$ – стопа ангажовања радника у производњи након примене технологија Индустрије 4.0 [%];
- $PSar$ – стопа ангажовања радника у производњи пре примене технологија Индустрије 4.0 [%].

Уколико је измерена вредност већа од 0 [%], то указује да је примена технологија Индустрије 4.0 допринела, у одређеној мери, смањењу стопа ангажовања радника у производном процесу, док вредност једнака или мања од 0 [%] указује да до унапређења није дошло.

10.3.5. DTKPI 12. Стопа квалитативно неусаглашених производа у производњи - $Sknp_l$

У току процеса производње дешава се да се идентификује одређени број квалитативно неусаглашених производа. То су производи који не испуњавају стандарде квалитета, имају оштећења, нису произведени у складу са захтевима купаца и техничким спецификацијама и који се, као такви, не могу дорадити или употребити.

Примена технологија Индустрије 4.0 утиче на смањење броја квалитативно неусаглашених производа у производњи. На пример: унапређена обука запослених применом технологија Проширене стварности (Freddi, 2018; Husár & Knapčíková, 2021), као и примена технологија Робота (Wan и сарадници, 2018), утиче на повећање прецизности у раду, смањење броја грешака и оштећења у производњи, примена технологија Интернет „интелигентних” уређаја омогућава правовремено праћење производног процеса, као и детекцију грешака и оштећења у тренутку када настану, а не на крају производног процеса (Mourtzis и сарадници, 2018).

DTKPI 12. Стопа квалитативно неусаглашених производа у производњи - $Sknp_l$ (енгл. *Nonconforming Products in Production Rate*) је индикатор којим се мери учешће квалитативно неусаглашених производа у посматраној количини произведених производа, изражено у процентима. Жељена вредност овог DTKPI је да тежи што мањој вредности, односно што ближе 0 [%]. Учесталост мерења је на нивоу смене, дневном нивоу, недељном, али се може мерити и на нивоу производног циклуса. Формула за израчунавање DTKPI 12. $Sknp_l$ приказана је изразом (26).

$$Sknp_l = \frac{Qknp_l \text{ [к.ј.]}}{Q_l \text{ [к.ј.]}} * 100 \text{ [%]} \quad (26)$$

Где је:

- $Sknp_l$ – стопа квалитативно неусаглашених производа l у производњи [%];
- $Qknp_l$ – укупна количина квалитативно неусаглашених производа у посматраном обиму производње производа l [к.ј.];
- Q_l – укупно произведена количина производа l у посматраном обиму производње [к.ј.].

Како би се дошло до закључка да ли је примена технологија Индустрија 4.0 допринела унапређењу управљања производњом, потребно је да се вредност овог индикатора измери након примене технологија и упоређи са вредношћу тог индикатора пре примене технологија. Формула на основу које се израчунава вредност остварене промена ове стопе, приказана је изразом (27).

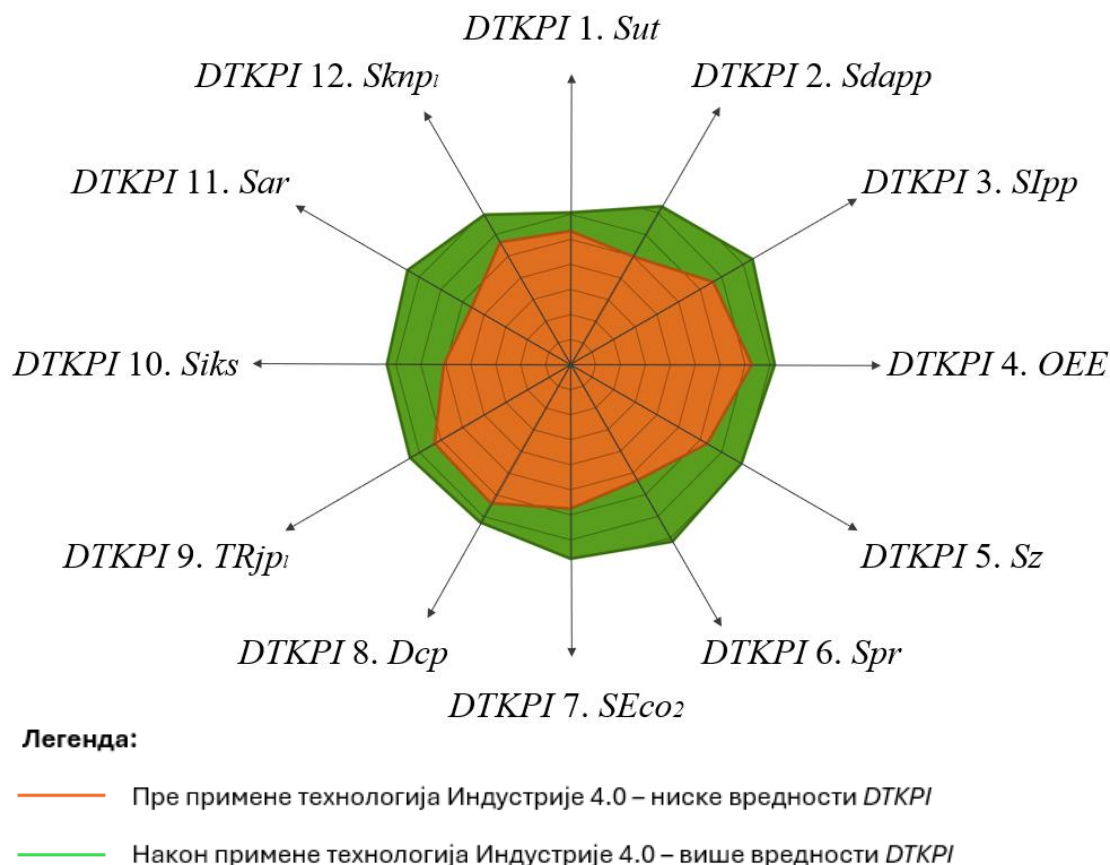
$$OPSknp_l = \left(1 - \frac{NSknp_l [\%]}{PSknp_l [\%]}\right) * 100 [\%] \quad (27)$$

Где је:

- $OPSknp_l$ – остварена промена стопе квалитативно неусаглашених производа у производњи [%];
- $NSknp_l$ – стопа квалитативно неусаглашених производа у производњи након примене технологија Индустрије 4.0 [%];
- $PSknp_l$ – стопа квалитативно неусаглашених производа у производњи пре примене технологија Индустрије 4.0 [%].

Уколико је измерена вредност већа од 0 [%], то указује да је примена технологије Индустрије 4.0 допринела, у одређеној мери, смањењу стопе квалитативно неусаглашених производа у производном процесу, док вредност једнака или мања од 0 [%] указује да нема унапређења.

Приказани скуп $DTKPI$ чини Модел кључних $DTKPI$ који се може применити за мерење промена насталих у управљању производњом применом технологија Индустрије 4.0. За приказ резултата примене овог модела на конкретном предузећу, може се користити графички приказ модела приказан на Слици 33., где су наранџастом бојом приказане вредности посматраних $DTKPI$ пре примене технологија Индустрије 4.0, а зеленом бојом остварене вредности ових индикатора након примене. У зависности од измерених вредности $DTKPI$, овај графички приказ модела подложен је промени.



Слика 33: Графички приказ модела *DTKPI* за унапређење управљања производњом – пре и после примене технологија Индустије 4.0

На Слици 34. приказан је концептуални модел дигиталне трансформације производних предузећа у функцији унапређења управљања производњом. Њиме се приказује повезаност између модела кључних детерминанти прихватања и примене технологија Индустије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом, технологија Индустије 4.0 и модела *DTKPI*, којим се мери унапређење управљања производњом применом технологија Индустије 4.0.

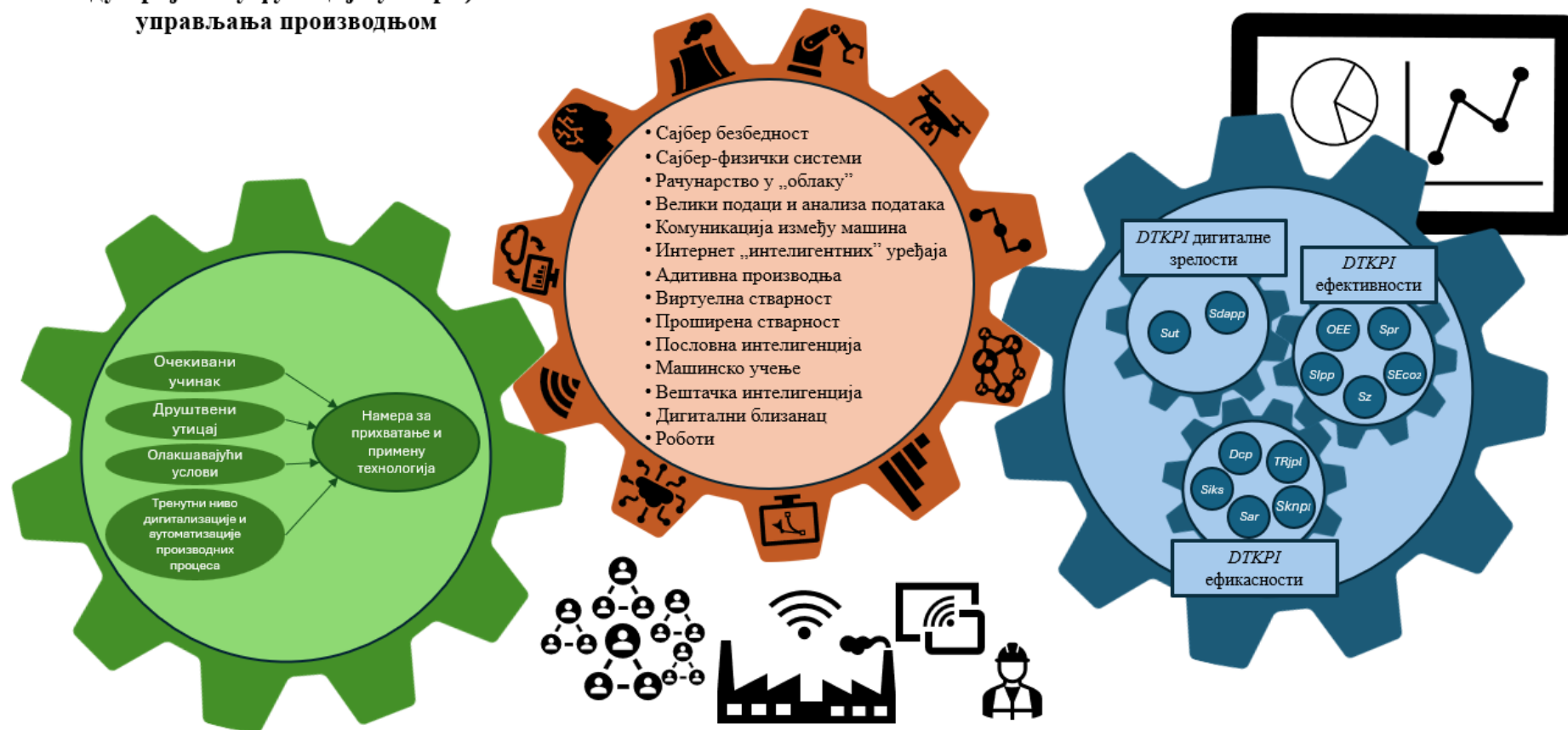
На основу резултата добијених применом овог модела, предузеће може да дође до закључка да ли је имплементација одабраних технологија Индустије 4.0 допринела унапређењу управљања производњом. Уколико није допринела, потребно је да се стратегија усмери на примену других технологија Индустије 4.0 или пронађе друго решење за унапређење управљања производњом. Предложени модел могуће је модификовати према конкретним потребама предузећа.

На основу представљеног у овом потпоглављу рада, појединачна хипотеза истраживања *X(2.3)*: *Могуће је дефинисати модел кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације (DTKPI) којим се могу мерити промене и пратити унапређења настала применом технологија Индустије 4.0, односно дигиталном трансформацијом, је потврђена.*

**Модел кључних детерминанти
прихватања и примене технологија
Индустрије 4.0 у функцији унапређења
управљања производњом**

**Технологије
Индустрије 4.0**

**Модел *DTKPI* у функцији унапређења
управљања производњом**



Слика 34: Концептуални модел дигиталне трансформације производних предузећа у функцији унапређења управљања производњом

11. ЗАКЉУЧАК

Циљ истраживања у докторској дисертацији је био да се креира модел кључних детерминанти које утичу на намеру прихватања и примене технологија Индустрије 4.0, применом проширеног *UTAUT* модела, у функцији унапређења управљања производњом. Такође, циљ истраживања је био и да се креира модел *DTKPI* за мерење унапређења управљања производњом применом технологија Индустрије 4.0.

У докторској дисертацији представљена је научна област управљање производњом, са освртом на савремено управљање производњом применом технологија Индустрије 4.0. Такође, представљено је и управљање перформансама, засновано на индикаторима перформанси и кључним индикаторима перформанси у производним предузећима, као и *KPI* дигиталне трансформације. Приказане су теоријске основе овог истраживања о: производњи, управљању производњом, индустријским револуцијама, дигитализацији и аутоматизацији, технологијама Индустрије 4.0, теоријама и модели за анализу детерминанти прихватања и примене технологија, перформансама, индикаторима перформанси и кључним индикаторима перформанси и њихова примена у управљању производњом. Представљене су предности и недостаци примена технологија Индустрије 4.0, њихов значај за савремено управљање производњом, значај теорија и модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија, као и значај индикатора перформанси и кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације (*DTKPI*) у управљању производњом, са освртом на савремену производњу и примену технологија Индустрије 4.0.

Након теоријских основа, приказан је преглед литературе из истраживаних области. Прво је анализирана стручна и научна литература у области савременог управљања производњом, применом технологија Индустрије 4.0, детаљном анализом научних радова објављених у периоду од 2018. до 2024. године, чиме је указано на актуелност теме. Примењена је квалитативна и квантитативна анализа одабраних радова. Резултати анализе приказали су основне предности и недостатке примене технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом, одабир најчешће примењених технологија у пракси, као и комбинацију технологија које се најчешће примењују заједно у пракси. Истакнуто је да, применом технологија Индустрије

4.0, предузећа могу да унапреде управљање производњом, као и да остваре планиране циљеве, омогућавајући бољу позицију на тржишту. Такође, истакнуто је и да ове технологије доприносе смањењу броја запослених, повећавају безбедност, унапређују процесе, спречавају грешке и повреде на раду и омогућавају даљински приступ подацима; да се технологије посматрају као подршка у свакодневним активностима које унапређују процесе и утичу на повећање конкурентности предузећа; за успешну имплементацију тих технологија неопходна је подршка руководства, дефинисане стратегије, као и постојање свести запослених о значају њихове примене. Примери из литературе, наведених у овом раду, указују на значај примене ових технологија, као и то како су примене различитих технологија допринеле унапређењу управљања производњом. Поред тога, приказане су успешне имплементације технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима која послују на територији Републике Србије, као и постигнути резултати њихове примене у управљању производњом, на основу којих је остварено унапређење пословних процеса и конкурентности предузећа.

У докторској дисертацији приказане су и теорије и модели за анализу детерминанти прихватања и примене технологија. За сваку од теорије и модела наведене су структура и детерминанте, а за потребе докторске дисертације, издвојен је један модел који по структури и детерминантама највише одговара истраживању које је спроведено за потребе докторске дисертације, модел *UTAUT*.

Други преглед литературе односио се на примену *DTKPI* у пракси, детаљном анализом научних радова објављених у периоду од 2014. до 2024. године, указујући на актуелност теме. Резултати прегледа литературе показали су да се многи *DTKPI* користе у управљању производњом, да је њихова примена у порасту и да на резултате мерења ових *KPI* утиче дигитализација и аутоматизација, односно примена технологија Индустрије 4.0.

Даље, представљене су најчешће примењене технологије Индустрије 4.0 у управљању производњом. Такође, указано је на предности, али и проблеме у имплементацији и примени технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом. Истакнуто је да примена технологија Индустрије 4.0 може унапредити управљање производњом, као и помоћи предузећу да оствари своје циљеве, попут повећања

продуктивности, ефикасности и ефективности, смањења губитака у производњи, смањења времена за реализацију производног процеса, смањења трошкова производње, повећања безбедности и заштите на раду, развоја дигиталних производа и повећању тржишног учешћа. Такође, у овој докторској дисертацији указано је на значај дигитализације и аутоматизације производних процеса у производним предузећима применом технологија Индустрије 4.0, као и значај имплементације ових технологија за унапређење ефикасности, ефективности, продуктивности, смањивање трошкова производње, самим тим и унапређење управљања производњом. Указано је на значај теорија и модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија, као и резултата примене модела одабраног за примену у докторској дисертацији - *UTAUT* модела. Додатно, указано је на значај примене *DTKPI* као начина за мерење промена и праћење унапређења насталих применом технологија Индустрије 4.0, односно дигиталне трансформације, у управљању производњом.

У докторској дисертацији, такође, приказани су и анализирани резултати истраживања спроведеног у производним предузећима у Републици Србији, чиме је истражена упознатост запослених у тим предузећима са технологијама технологија Индустрије 4.0, као и спремност за њихову примену у пракси. На основу резултата овог истраживања, креиран је прилагођен и проширен *UTAUT* модел (који је, на основу прегледа литературе и постојећих теорија и модела, одабран као адекватан) за испитивање детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима. На основу креираног модела, одређене су кључне детерминанте које имају највећи утицај на имплементацију и прихватање технологија Индустрије 4.0. Ове детерминанте чине Модел кључних детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом.

На основу прегледа литературе о примени *KPI* за унапређење управљања производњом и *KPI* дигиталне трансформације (*DTKPI*) за унапређење резултата пословања производних предузећа применом дигитализације, аутоматизације и савремених технологија Индустрије 4.0, дефинисан је модел *DTKPI* у функцији унапређења управљања производњом. Модел је креиран за мерење промена и праћење унапређења у управљању производњом насталих применом технологија Индустрије 4.0.

У раду су тестиране постављене хипотезе истраживања. Приказ настанка и развој Индустријске револуције, резултати примене различитих технологија Индустрије 4.0, као и резултати увођења дигитализације и аутоматизације у производна предузећа, односно дигиталне трансформације, указују да ове технологије позитивно утичу на трансформацију пословања и унапређење пословних резултата, чиме је, у четвртом поглављу, **потврђена појединачна** хипотеза истраживања *X(1.1): Дигитализација и аутоматизација омогућавају унапређење управљања производњом*. Истицањем учесталости примене, као и кључних предности примене технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима кроз детаљну анализу литературе, у петом поглављу, **потврђене** су две појединачне хипотезе истраживања *X(1.2): Применом технологија Индустрије 4.0 могуће је повећати продуктивност, ефикасност и ефективност производње, смањити трошкове, обезбедити брже прикупљање података и ток информација, омогућити правовремено праћење и контролу производње и уочавање проблема и грешака у производњи* и *X(1.3): На основу прегледа научне и стручне литературе, могуће је издвојити најчешће примењене технологије Индустрије 4.0 у управљању производњом*. С обзиром да је циљ истраживања у докторској дисертацији да се креира модел детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом, на основу приказаних теорија и модела који могу да се примене за дефинисање тих детерминанти, одабран је *UTAUT* модел, као адекватан модел за ту сврху. На основу приказаног у поглављу шест, појединачне хипотезе истраживања *X(1.4): Постоје теорије и модели који се користе за анализу детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом* и *X(1.5): Могуће је одабрати адекватан модел за анализу детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом*, су **потврђене**. На основу резултата истраживања спроведеног у производним предузећима у Републици Србији и истраживања наведених у литератури, поред четири основне, дефинисано је и седам додатних детерминанти, које су посматране као значајне детерминанте у процесу прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у овим предузећима. Ове детерминанте коришћене су за проширење *UTAUT* модела, који се на тај начин састојао од укупно 11 детерминанти, што је приказано у поглављу осам. На основу приказаног у

поглављу осам, појединачна хипотеза истраживања $X(1.6)$: *Одабрани модел за анализу детерминанти прихватања и примене технологија Индустије 4.0 могуће је проширити са додатним детерминантама за прихватање и примену технологија, које нису обухваћене изворним обликом модела, је потврђена.* Четири од 11 подхипотеза појединачне хипотезе $X(1.7)$ су потврђене, док седам подхипотеза није потврђено, што је приказано у поглављу осам. Ове подхипотезе тестиране су на три проширена UTAUT модела за три одабране технологије: Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци. Како је, за све три технологије, потврђен позитиван утицај детерминанте Очекиваног учинка на прихватање и примену технологија, тиме је подхипотеза $X(1.7.1)$: *Очекивани учинак има позитиван утицај на прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима, потврђена.* Утицај детерминанте Очекивана лакоћа коришћења није потврђена у сва три модела, због чега подхипотеза $X(1.7.2)$: *Очекивана лакоћа коришћења има позитиван утицај на прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима, није потврђена.* Детерминанта Друштвени утицај је имала позитиван утицај на намеру за прихватање и примену две од три технологије, на основу чега је подхипотеза $X(1.7.3)$: *Друштвени утицај има позитиван утицај на прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима, потврђена.* За све три технологије је потврђен утицај детерминанте Олакшавајући услови, на основу чега је подхипотеза $X(1.7.4)$: *Олакшавајући услови имају позитиван утицај на прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима, потврђена.* Ни у једном од три модела није забележен утицај детерминанти Ставови према дигитализацији и аутоматизацији процеса и Свест и подршка руководства предузећа, на основу чега подхипотезе $X(1.7.5)$: *Ставови према дигитализацији и аутоматизацији процеса имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима и* $X(1.7.6)$: *Свест и подршка руководства предузећа имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима, нису потврђене.* У сва три модела је потврђен утицај детерминанте Тренутни ниво дигитализације и аутоматизације производних процеса, на основу чега подхипотеза $X(1.7.7)$: *Тренутни ниво дигитализације и аутоматизације*

производних процеса има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима, је **потврђена**. С обзиром да детерминанта Дигитализоване и аутоматизоване активности купаца, добављача и складишта има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену једне од три технологије, на основу тога подхипотеза $X(1.7.8)$: *Дигитализоване и аутоматизоване активности купаца, добављача и складишта имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима*, **није потврђена**. С обзиром да није било статистички значајног утицаја детерминанте Спољашњи фактори ни у једном од три модела, подхипотеза $X(1.7.9)$: *Спољашњи фактори имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима*, **није потврђена**. С обзиром да детерминанта Унутрашњи фактори има позитиван утицај на намеру за прихватање и примену једне од три технологије, на основу тога подхипотеза $X(1.7.10)$: *Унутрашњи фактори имају позитиван утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима*, **није потврђена**. Како није било статистички значајног утицаја детерминанте Препреке ни у једном од три модела, подхипотеза $X(1.7.11)$: *Препреке имају негативан утицај на намеру за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима*, **није потврђена**. С обзиром да је применом проширеног UTAUT модела за три технологије Индустије 4.0 (Интернет „интелигентних“ уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци), потврђено да четири од 11 детерминанти имају позитиван утицај на прихватање и примену ових технологија у производним предузећима, тиме је појединачна хипотеза истраживања $X(1.7)$: *Постоје детерминанте које позитивно утичу на прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у производним предузећима*, **потврђена**, што је приказано у поглављу осам. На основу резултата примене проширеног UTAUT модела за три технологије, у поглављу девет, дефинисан је јединствени модел кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустије 4.0, чиме је појединачна хипотеза истраживања $X(1.8)$: *Могуће је дефинисати модел кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом*, **потврђена**. С обзиром да су свих осам појединачних хипотеза прве посебне хипотезе потврђене, тиме је и посебна

хипотеза $X(1)$: *Примена технологија Индустије 4.0 у производним предузећима позитивно утиче на унапређење управљања производњом, **потврђена**.*

На основу приказаног прегледа литературе о примени индикатора перформанси у управљању производњом, као и резултата и значаја њихове примене у управљању производњом, од којих многи могу бити кључни индикатори перформанси, у зависности од њихове адекватности у разматраним применама, у поглављу седам, **потврђена** је хипотеза истраживања $X(2.1)$: *Кључни индикатори перформанси примењују се у управљању производњом у функцији њеног унапређења.* На основу резултата прегледа литературе, детаљног приказа и класификације $DTKPI$ који се примењују за мерење промена и унапређења насталих применом технологија Индустије 4.0 у управљању производњом, у поглављу седам, **потврђена** је и појединачна хипотеза истраживања, $X(2.2)$: *Кључни индикатори перформанси дигиталне трансформације могу се применити у управљању производњом са циљем мерења промена и праћења унапређења насталих применом технологија Индустије 4.0, односно дигиталном трансформацијом.* На основу претходног, у поглављу десет, дефинисан је модел $DTKPI$, који се састоји од 12 $DTKPI$, којим је могуће мерити промене и пратити унапређења у управљању производњом настале применом технологија Индустије 4.0. Тиме је појединачна хипотеза истраживања $X(2.3)$: *Могуће је дефинисати модел кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације ($DTKPI$) којим се могу мерити промене и пратити унапређења настала применом технологија Индустије 4.0, односно дигиталном трансформацијом, **потврђена**.* С обзиром да су све три појединачне хипотезе друге посебне хипотезе потврђене, тиме је и посебна хипотеза $X(2)$: *Примена кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације у производним предузећима позитивно утиче на унапређење управљања производњом, **потврђена**.*

Како су обе посебне хипотезе основне хипотезе истраживања потврђене, изводи се закључак да је и општа хипотеза истраживања приказаног у овом раду $X(0)$: *Примена технологија Индустије 4.0 и кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације у производним предузећима позитивно утиче на унапређење управљања производњом **потврђена**.* Табеларни приказ хипотеза и њиховог статуса (потврђена/непотврђена) приказан је у Табели 40.

Табела 40: Резултат тестирања хипотеза истраживања докторске дисертације

Р.б.	Општа хипотеза	Посебна хипотеза	Појединачна хипотеза	Подхипотеза појединачне хипотезе	Статус
1	X(0)	X(1)			Потврђена
2					Потврђена
3			X(1.1)		Потврђена
4			X(1.2)		Потврђена
5			X(1.3)		Потврђена
6			X(1.4)		Потврђена
7			X(1.5)		Потврђена
8			X(1.6)		Потврђена
9			X(1.7)		Потврђена
10				X(1.7.1)	Потврђена
11				X(1.7.2)	Није потврђена
12				X(1.7.3)	Потврђена
13				X(1.7.4)	Потврђена
14				X(1.7.5)	Није потврђена
15				X(1.7.6)	Није потврђена
16				X(1.7.7)	Потврђена
17				X(1.7.8)	Није потврђена
18				X(1.7.9)	Није потврђена
19				X(1.7.10)	Није потврђена
20				X(1.7.11)	Није потврђена
21			X(1.8)		Потврђена
22		X(2)			Потврђена
23			X(2.1)		Потврђена
24			X(2.2)		Потврђена
25			X(2.3)		Потврђена

У докторској дисертацији остварено је више научних доприноса. Допринос се огледа кроз систематизовани преглед, анализу и класификацију научне и стручне литературе о технологијама Индустрије 4.0 и њиховој примени у управљању производњом, као и одабиру најчешће примењених технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом. Затим, допринос је постигнут приказом резултата примене технологија Индустрије 4.0 у унапређењу управљања производњом, тежећи ка остваривању циљева предузећа и обезбеђењу боље позиције предузећа на тржишту и указивање на проблеме у имплементацији и примени технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима на основу резултата класификације научне и стручне литературе. Допринос се огледа и у систематском приказу теорија и модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија у

предузећима, као и одабиру адекватног модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија у предузећима. Допринос је постигнут и кроз приказ резултата истраживања спроведеног на узорку од 228 производних предузећа у Републици Србији, са веома високом стопом одзива (приближно 70 [%]), као и анализи тренутне примене технологија Индустрије 4.0 у производним предузећима у Републици Србији. На основу анализе резултата овог истраживања, дефинисане су додатне детерминанте за проширење *UTAUT* модела за усвајање три технологије: Интернет „интелигентних” уређаја, Вештачка интелигенција и Велики подаци, што је додатни допринос докторске дисертације. Такође, доприноси су и систематизован преглед и анализа постојеће научне и стручне литературе о примени одабраног модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија, креирање модела за анализу детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у управљању производњом, као и дефинисање кључних детерминанти за прихватање и примену технологија Индустрије 4.0 у посматраним предузећима. Додатно, допринос је и креирање модела кључних детерминанти прихватања и примене технологија Индустрије 4.0 у функцији унапређења управљања производњом. Допринос докторске дисертације се огледа и у прегледу и анализи постојеће научне и стручне литературе о: перформансама, индикаторима перформанси и кључним индикаторима перформанси, њихове примене у управљању производњом, као и примени кључних индикатора перформанси дигиталне трансформације (*DTKPI*). Доприноси су постигнути и кроз приказ резултата примене и значаја *DTKPI* у управљању производњом, као и креирање модела *DTKPI* за мерење и праћење унапређења у управљању производњом применом технологија Индустрије 4.0.

Резултати докторске дисертације могу бити од велике користи доносиоцима одлука, руководиоцима и стручњацима из праксе у производним предузећима.

Ограничења ове докторске дисертације су: Прво ограничење је да је за одабир технологија Индустрије 4.0 коришћена анализа литературе преузете само са *Scopus* научне базе радова, док је одабир и приказ *DTKPI* извршен на основу радова преузетих са *Scopus* и *WoS* научних база. Проширењем, односно укључивањем још неких база, попут *Science Direct*, *Springer*, *Wiley* и других, постоји могућност да би био пронађен већи број радова на ове теме и проширен списак технологија, редоследа

технологија по значајности, као и приказ још неких *DTKPI*. Друго ограничење је да је анализа база научне и стручне литературе ограничена на последњих пет до десет година. Ако би се посматрао већи временски распон, постоји могућност да би резултати добијени у овим анализама били другачији. Треће ограничење је што је извршена анализа литературе на тему примене технологија Индустрије 4.0 искључиво у производним предузећима. Многе примене ових технологија могу се пронаћи и у другим областима. Четврто ограничење је да је примарно истраживање спроведено само у производним предузећима у Републици Србији, због чега се не може са сигурношћу тврдити да закључци важе на глобалном нивоу за сва предузећа. Пето ограничење се односи на број детерминанти са којима је проширен *UTAUT* модел. С обзиром да неколико додатих детерминанти (на пример: СДА, СП, СФ, УФ, П) не показују статистичку значајност ни у једном од три модела, могло би се размотрити њихово уклањање у будућим изменама модела. Такође, могуће је заменити их са другим детерминантама, које могу имати већи утицати на намеру за прихватање и примену технологија или усвајање ових технологија. Могуће је и поједноставити модел искључивањем оних детерминанти које немају значај, као и комбиновањем или прегруписавањем постојећих детерминанти.

Први будући правац истраживања је упоређивање резултата овог истраживања са сличним истраживањима, указујући на детерминанте које у највећој мери утичу на усвајање и прихватање технологија. Други правац будућих истраживања је спровођење истраживања у земљама у окружењу, дакле, истраживање примене и прихватања технологија у земљама са сличним друштвеним, културним и економским карактеристикама, као што су рецимо земље на Балкану и генерализација модела за примену у другим државама, као и спровођење вишегрупне *SEM* анализе, ради поређења модела између различитих група испитаника. Трећи правац будућих истраживања је фокусирање на емпиријско тестирање дефинисаних модела, као и препознавање и укључивање додатних детерминанти које би могле побољшати интерпретативну моћ проширеног *UTAUT* модела, у контексту управљања производњом. Четврти правац будућих истраживања је стављање фокуса на истраживање утицаја примене технологија Индустрије 4.0 на остале процесе и функције у предузећима, не само на управљање производњом, што би могло резултовати предлозима за унапређење пословања целокупног предузећа. Такође, у

оквиру наведеног истраживања, могао би се анализирати временски оквир након којег постају видљиви ефекти прихватања и примене ових технологија. Пети правац будућих истраживања је формална валидација предложеног концептуалног модела мерења *DTKPI*, кроз његову примену у већем броју производних предузећа, како би се емпиријски испитала релевантност и применљивост предложених *DTKPI* за мерење унапређења управљања производњом након примене технологија Индустрије 4.0. Додатно, могуће је спровести статистичку валидацију структуре модела применом метода као што су факторска анализа или *SEM*, како би се анализирали међусобни односи између предложених индикатора. Шести правац будућих истраживања је развој композитног индекса заснованог на предложеним *DTKPI*, што би омогућило једноставнију и интегралну процену ефеката дигиталне трансформације на управљање производњом. Седми правац будућих истраживања је аутоматизација предложеног модела *DTKPI* кроз интеграцију са информационим системима који се користе у производним предузећима, попут *ERP*, *MES*, *SCADA* и друго. На тај начин би се омогућило аутоматско прикупљање података и континуирано праћење вредности индикатора у реалном времену, што би значајно повећало практичну применљивост модела у управљању производњом. Осми правац будућих истраживања је развој аналитичких платформи или контролних табли (енгл. *Dashboard*) заснованих на предложеним *DTKPI*, што би омогућило визуелизацију и анализу перформанси производног система у реалном времену. Девети правац будућих истраживања је примена технологија Вештачке интелигенције и Машинског учења за предиктивну анализу *DTKPI*, што би омогућило предвиђање потенцијалних проблема у производњи и правовремено доношење управљачких одлука. Десети правац будућих истраживања је примена савремених алата заснованих на великим језичким моделима (енгл. *Large Language Models - LLM*) који се могу применити за аутоматизовану интерпретацију резултата *DTKPI* и генерисање управљачких препорука на основу анализе прикупљених података.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Abdallah, Y.O., Shehab, E., Al-Ashaab, A. (2021). Understanding digital transformation in the manufacturing industry: a systematic literature review and future trends. *Product, Management and Development*, 19, <http://dx.doi.org/10.4322/pmd.2021.001>
- [2] Adamczak, M., Kolinski, A., Trojanowska, J., & Husár, J. (2023). Digitalization trend and its influence on the development of the operational process in production companies. *Applied Sciences*, 13(3), 1393. <https://doi.org/10.3390/app13031393>
- [3] Adamson, G., Wang, L., Holm, M., & Moore, P. (2017). Cloud manufacturing—a critical review of recent development and future trends. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(4-5), 347-380. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2015.1031704>
- [4] Aguinis, H. (2013). *Performance Management*, 3rd edition. Boston: Pearson.
- [5] Aguirre-Urreta, M. I., & Hu, J. (2019). Detecting common method bias: Performance of the Harman's single-factor test. *ACM SIGMIS database: the DATABASE for Advances in Information Systems*, 50(2), 45-70. <https://doi.org/10.1145/3330472.3330477>
- [6] Ahmed, M. H. (2013). OEE can be your key: Change formula for equipment availability to improve performance. *Industrial Engineer*, 45(8), 43-48.
- [7] Aiello, G., Benítez, J., Carpitella, S., Certa, A., Enea, M., Izquierdo, J., & La Cascia, M. (2020). A decision support system to assure high-performance maintenance service. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 27(4), 651–670. <https://doi.org/10.1108/jqme-11-2019-0107>
- [8] Ajibade, P. (2018). Technology acceptance model limitations and criticisms: Exploring the practical applications and use in technology-related studies, mixed-method, and qualitative researches. *Library Philosophy and Practice*, 9.
- [9] Ajzen, I. (1985). From intentions to actions: A theory of planned behavior. In: Kuhl, J., Beckmann, J. (eds.) *Action Control: From Cognition to Behavior*. Springer, New York.
- [10] Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 179-211.

- [11] Albukhitan, S. (2020). Developing digital transformation strategy for manufacturing. *Procedia computer science*, 170, 664-671. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.173>
- [12] Alguliyev, R., Imamverdiyev, Y., & Sukhostat, L. (2018). Cyber-physical systems and their security issues. *Computers in Industry*, 100, 212-223. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.017>
- [13] Almeida, F., Santos, J. D., & Monteiro, J. A. (2020). The challenges and opportunities in the digitalization of companies in a post-COVID-19 World. *IEEE Engineering Management Review*, 48(3), 97-103. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.3013206>
- [14] Al-Saedi, K., Al-Emran, M., Ramayah, T., & Abusham, E. (2020). Developing a general extended UTAUT model for M-payment adoption. *Technology in society*, 62, 101293. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101293>
- [15] Alshammari, S. H., & Rosli, M. S. (2020). A review of technology acceptance models and theories. *Innovative Teaching and Learning Journal (ITLJ)*, 4(2), 12-22.
- [16] Ambler, S. W., & Constantine, L. (2001). *The Unified Process Transition and Production Phases: Best Practices in Implementing the UP*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482280746>
- [17] Ambrogio, G., Filice, L., Longo, F., & Padovano, A. (2022). Workforce and supply chain disruption as a digital and technological innovation opportunity for resilient manufacturing systems in the COVID-19 pandemic. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108158. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108158>
- [18] Ammenwerth, E. (2019). Technology acceptance models in health informatics: TAM and UTAUT. In *Applied Interdisciplinary Theory in Health Informatics* (pp. 64-71). IOS Press. <https://doi.org/10.3233/SHTI190111>
- [19] Amoroso, E. G., & Amoroso, E. (2012). *Cyber attacks: protecting national infrastructure*. Elsevier.
- [20] Angelopoulos, J., & Mourtzis, D. (2022). An intelligent product service system for adaptive maintenance of engineered-to-order manufacturing equipment assisted by augmented reality. *Applied Sciences*, 12(11), 5349. <https://doi.org/10.3390/app12115349>

- [21] Antikainen, M., Uusitalo, T., & Kivikytö-Reponen, P. (2018). Digitalisation as an enabler of circular economy. *Procedia CIRP*, 73, 45-49. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.027>
- [22] Anton-Haro, C., & Dohler, M. (2015). Introduction to machine-to-machine (M2M) communications. *Machine-to-machine (M2M) Communications*, 1-23. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-102-3.00001-0>
- [23] Apriliyanti, M. (2022). Challenges of The Industrial Revolution Era 1.0 to 5.0: University Digital Library In Indonesia. *Library Philosophy and Practice*, 1-17.
- [24] Armstrong, M., & Baron, A. (2005). *Managing performance: performance management in action*. CIPD publishing.
- [25] Arnarson, H., Yu, H., Olavsbråten, M. M., Bremdal, B. A., & Solvang, B. (2023). Towards smart layout design for a reconfigurable manufacturing system. *Journal of Manufacturing Systems*, 68, 354-367. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.03.012>
- [26] ASTM. 2015. *Standard terminology for additive manufacturing—general principles. Part 1: Terminology*. ISO/ASTM Stand. 52792, ASTM
- [27] Атанасов, Н. (2016). *Модел за избор адекватног скупа индикатора перформанси у управљању производњом*, докторска дисертација. Београд: Факултет организационих наука.
- [28] Auschitzky, E., Hammer, M., & Rajagopaul, A. (2014). *How big data can improve manufacturing*. McKinsey & Company.
- [29] Ayaz, A., & Yanartaş, M. (2020). An analysis on the unified theory of acceptance and use of technology theory (UTAUT): Acceptance of electronic document management system (EDMS). *Computers in Human Behavior Reports*, 2, 100032. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2020.100032>
- [30] Бабић, Б., Вишић, Ј. и Ђермановић, А. (2020). Дигитални близанци у паметној производњи и индустрији. Зборник радова 42. ЈУПИТЕР конференција, 35. симпозијум СИМ у стратегији технолошког развоја индустрије прераде метала.
- [31] Bag, S., Pretorius, J. H. C., Gupta, S., & Dwivedi, Y. K. (2021). Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy

- capabilities. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120420.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120420>
- [32] Bagozzi, R. P. (2007). The legacy of the technology acceptance model and a proposal for a paradigm shift. *Journal of the association for information systems*, 8(4), 3.
- [33] Baheti, R., & Gill, H. (2011). Cyber-physical systems. *The impact of control technology*, 12(1), 161-166.
- [34] Baloglu, O., Latifi, S. Q., & Nazha, A. (2022). What is machine learning? *Archives of Disease in Childhood-Education and Practice*, 107(5), 386-388.
<https://doi.org/10.1136/archdischild-2020-319415>
- [35] Bandura, A. (1986). Social foundations of thought and action: a social cognitive theory. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. In: Marks, D. *The Health Psychology Reader*, 1986(23-28), 94-106.
- [36] Bandura, A. (1991). Social cognitive theory of self-regulation. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2), 248-287.
[https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90022-L](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90022-L)
- [37] Bandura, A. (2001). Social cognitive theory: An agentic perspective. *Annual review of psychology*, 52(1), 1-26. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.52.1.1>
- [38] Batterton, K. A., & Hale, K. N. (2017). The Likert scale what it is and how to use it. *Phalanx*, 50(2), 32-39.
- [39] Bécue, A., Praça, I., & Gama, J. (2021). Artificial intelligence, cyber-threats and Industry 4.0: Challenges and opportunities. *Artificial Intelligence Review*, 54(5), 3849-3886. <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09942-2>
- [40] Bellas, A. S., & Nentl, N. J. (2007). Adoption of environmental innovations at US power plants. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 22(5), 336-341.
<https://doi.org/10.1108/08858620710773468>
- [41] Belli, L., Davoli, L., Medioli, A., Marchini, P. L., & Ferrari, G. (2019). Toward Industry 4.0 with IoT: Optimizing business processes in an evolving manufacturing factory. *Frontiers in ICT*, 6(17). <https://doi.org/10.3389/fict.2019.00017>
- [42] Benotsmane, R., Kacemi, S. E., Dudás, L., & Kovács, G. (2021). Simulation of Industrial Robots'six Axes Manipulator Arms-A Case Study. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 19(1).

- [43] Berg, L. P., & Vance, J. M. (2017). Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey. *Virtual reality*, 21, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10055-016-0293-9>
- [44] Bervell, B., & Umar, I. N. (2017). Validation of the UTAUT model: Reconsidering non-linear relationships of exogeneous variables in higher education technology acceptance research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(10), 6471-6490. <https://doi.org/10.12973/ejmste/78076>
- [45] Bitsanis, I. A., & Ponis, S. T. (2022). The Determinants of Digital Transformation in Lean Production Systems: A Survey. *European Journal of Business and Management Research*, 7(6), 227-234. <https://doi.org/10.24018/ejbmr.2022.7.6.1732>
- [46] Blaga, A., & Tamas, L. (2018, June). Augmented reality for digital manufacturing. In *2018 26th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)* (pp. 173-178). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MED.2018.8443028>.
- [47] Blanco-Novoa, O., Fernandez-Carames, T. M., Fraga-Lamas, P., & Vilar-Montesinos, M. A. (2018). A practical evaluation of commercial industrial augmented reality systems in an industry 4.0 shipyard. *IEEE Access*, 6, 8201-8218. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2802699>
- [48] Blut, M., Chong, A. Y. L., Tsigas, Z., & Venkatesh, V. (2022, January). Meta-analysis of the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT): challenging its validity and charting a research agenda in the red ocean. *Association for Information Systems*.
- [49] Bosch. (2022). *Bosch aims to generate billions in sales with green tech for industry*. Доступно на: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-aims-to-generate-billions-in-sales-with-green-tech-for-industry-241472.html> (Датум приступа: 20.4.2024.)
- [50] Boschert, S., Heinrich, C., & Rosen, R. (2018). Next generation digital twin. Next generation digital twin. *Proc. Tmce*, 2018, 209-218.
- [51] Bottani, E., & Vignali, G. (2019). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *Iise Transactions*, 51(3), 284-310. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1493244>
- [52] Bourell, D. L. (2016). Perspectives on additive manufacturing. *Annual Review of Materials Research*, 46(1), 1-18.

- [53] Branca, T. A., Fornai, B., Colla, V., Murri, M. M., Streppa, E., & Schröder, A. J. (2020). The challenge of digitalization in the steel sector. *Metals*, 10(2), 288. <https://doi.org/10.3390/met10020288>
- [54] Brecher, C., Müller, A., Dassen, Y., & Storms, S. (2021). Automation technology as a key component of the Industry 4.0 production development path. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 117, 2287-2295. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07246-5>
- [55] Brünink, L. (2016). *Cross-functional big data integration: applying the utaut model*. Enschede: University of Twente.
- [56] Buabeng-Andoh, C., & Baah, C. (2020). Pre-service teachers' intention to use learning management system: an integration of UTAUT and TAM. *Interactive Technology and Smart Education*, 17(4), 455-474. <https://doi.org/10.1108/ITSE-02-2020-0028>
- [57] Buer, S. V., Strandhagen, J. W., Semini, M., & Strandhagen, J. O. (2021). The digitalization of manufacturing: investigating the impact of production environment and company size. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 621-645. <https://doi.org/10.1108/JMTM-05-2019-0174>
- [58] Cabrera-Sanchez, J. P., & Villarejo-Ramos, A. F. (2020). Factors affecting the adoption of big data analytics in companies. *Revista de Administração de Empresas*, 59, 415-429. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020190607>
- [59] Caylar, P. L., Noterdaeme, O., & Naik, K. (2016). Digital in industry: From buzzword to value creation. McKinsey Company. *Digit. McKinsey*, 2(1), 1-9.
- [60] Cebotarean, E. (2011). Business intelligence. *Journal of Knowledge Management, Economics and Information Technology*, 1(2), 1-12.
- [61] Chang, A. (2012). UTAUT and UTAUT 2: A review and agenda for future research. *The Winners*, 13(2), 10-114. <https://doi.org/10.21512/tw.v13i2.656>
- [62] Chen, L. D., Gillenson, M. L., & Sherrell, D. L. (2002). Enticing online consumers: an extended technology acceptance perspective. *Information & management*, 39(8), 705-719. [https://doi.org/10.1016/S0378-7206\(01\)00127-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7206(01)00127-6)
- [63] Chen, M., Wan, J., & Li, F. (2012). Machine-to-machine communications: Architectures, standards and applications. *KSII Transactions on Internet and Information Systems (TIIS)*, 6(2), 480-497. <https://doi.org/10.3837/tiis.2012.02.002>

- [64] Chiu, W. Y., Meng, W., & Ge, C. (2022). NoSneaky: A Blockchain-based Execution Integrity Protection Scheme in Industry 4.0. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 19(7), 7957-7965. <https://doi.org/10.1109/TII.2022.3215606>
- [65] Choi, L. K., Panjaitan, A. S., & Apriliasari, D. (2022). The effectiveness of business intelligence management implementation in industry 4.0. *Startupreneur Business Digital (SABDA Journal)*, 1(2), 115-125. <https://doi.org/10.34306/sabda.v1i2.106>
- [66] Chouki, M., Talea, M., Okar, C., & Chroqui, R. (2020). Barriers to information technology adoption within small and medium enterprises: A systematic literature review. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 17(01), 2050007. <https://doi.org/10.1142/S0219877020500078>
- [67] Çiğdem, Ş., Meidute-Kavaliauskiene, I., & Yıldız, B. (2023). Industry 4.0 and industrial robots: A study from the perspective of manufacturing company employees. *Logistics*, 7(1), 17. <https://doi.org/10.3390/logistics7010017>
- [68] Cimino, C., Negri, E., & Fumagalli, L. (2019). Review of digital twin applications in manufacturing. *Computers in Industry*, 113, 103130.
- [69] Cimperman, M., Brenčič, M. M., & Trkman, P. (2016). Analyzing older users' home telehealth services acceptance behavior—applying an Extended UTAUT model. *International journal of medical informatics*, 90, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2016.03.002>
- [70] Çınar, Z. M., Abdussalam Nuhu, A., Zeeshan, Q., Korhan, O., Asmael, M., & Safaei, B. (2020). Machine learning in predictive maintenance towards sustainable smart manufacturing in industry 4.0. *Sustainability*, 12(19), 8211. <https://doi.org/10.3390/su12198211>
- [71] Cioffi, R., Travaglioni, M., Piscitelli, G., Petrillo, A., & De Felice, F. (2020). Artificial intelligence and machine learning applications in smart production: Progress, trends, and directions. *Sustainability*, 12(2), 492. <https://doi.org/10.3390/su12020492>
- [72] Cirillo, V., Fanti, L., Mina, A., & Ricci, A. (2023). The adoption of digital technologies: Investment, skills, work organisation. *Structural Change and Economic Dynamics*, 66, 89-105. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2023.04.011>

- [73] CNSS. 2010. *National Information Assurance Glossary. Committee on National Security Systems (CNSS) Instruction No. 4009*: http://www.ncix.gov/publications/policy/docs/CNSSI_4009.pdf
- [74] Cocosila, M., Archer, N., & Yuan, Y. (2009). Early investigation of new information technology acceptance: A perceived risk-motivation model. *Communications of the Association for Information Systems*, 25(30), 339-358. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.02530>
- [75] Contini, G., & Peruzzini, M. (2022). Sustainability and industry 4.0: definition of a set of key performance indicators for manufacturing companies. *Sustainability*, 14(17), 11004. <https://doi.org/10.3390/su141711004>
- [76] Contini, G., Peruzzini, M., Bulgarelli, S., & Bosi, G. (2023). Developing key performance indicators for monitoring sustainability in the ceramic industry: The role of digitalization and industry 4.0 technologies. *Journal of Cleaner Production*, 414, 137664. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137664>
- [77] Craigen, D., Diakun-Thibault, N., & Purse, R. (2014). Defining cybersecurity. *Technology innovation management review*, 4(10), 13-21. <http://doi.org/10.22215/timreview/835>
- [78] Creese, R. (2017). *Introduction to manufacturing processes and materials*. New York: CRC Press.
- [79] CSIRO. (2003). *Business intelligence - What is it?* Доступно на: <http://www.cmis.csiro.au/bi/what-is-BI.htm> (Датум приступа: 8.4.2025.)
- [80] Cui, Y., Kara, S., & Chan, K. C. (2020). Manufacturing big data ecosystem: A systematic literature review. *Robotics and computer-integrated Manufacturing*, 62, 101861. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101861>
- [81] Čater, T., Čater, B., Černe, M., Koman, M., & Redek, T. (2021). Industry 4.0 technologies usage: motives and enablers. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(9), 323-345. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2021-0026>
- [82] Ćorović, E., Gligorijević, Ž., & Manasijević, A. (2019). Revealed comparative advantages and competitiveness of the manufacturing Industry of the Republic of Serbia. *Economic themes*, 57(3), 307-327. <https://doi.org/10.2478/ethemes-2019-0018>
- [83] Dalmarco, G., Ramalho, F. R., Barros, A. C., & Soares, A. L. (2019). Providing industry 4.0 technologies: The case of a production technology cluster. *The Journal of*

- High Technology Management Research*, 30(2), 100355.
<https://doi.org/10.1016/j.hitech.2019.100355>
- [84] Damanpour, F., Sanchez-Henriquez, F., & Chiu, H. H. (2018). Internal and external sources and the adoption of innovations in organizations. *British Journal of Management*, 29(4), 712-730. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.12296>
- [85] Danvila-del-Valle, I., Estévez-Mendoza, C., & Lara, F. J. (2019). Human resources training: A bibliometric analysis. *Journal of Business Research*, 101, 627-636. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.02.026>
- [86] Davis, F. D. (1989). *Technology acceptance model: TAM*. University of Michigan.
- [87] Davis, F. D. (1989a). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use and User Acceptance of Information Technology. *MIS quarterly*, 319-340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- [88] Davis, F. D., Bagozzi, R. P., & Warshaw, P. R. (1992). Extrinsic and intrinsic motivation to use computers in the workplace. *Journal of applied social psychology*, 22(14), 1111-1132. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.1992.tb00945.x>
- [89] Davis, F.D. (1986). *A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems: Theory and Results*, doctoral dissertation. MIT Sloan School of Management, Cambridge, MA, 1986.
- [90] Delta Holding. (2023). *Digital Village – Delta Holding*. Доступно на: <https://deltaholding.rs/en/building-a-better-world/digital-village> (Датум приступа: 10.9.2024.)
- [91] Demir, K. A., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and human-robot co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688-695. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>
- [92] Demko-Rihter, J., Sassanelli, C., Pantelic, M., & Anisic, Z. (2023). A framework to assess manufacturers' circular economy readiness level in developing countries: an application case in a Serbian packaging company. *Sustainability*, 15(8), 6982. <https://doi.org/10.3390/su15086982>
- [93] Derler, P., Lee, E. A., & Vincentelli, A. S. (2011). Modeling cyber-physical systems. *Proceedings of the IEEE*, 100(1), 13-28. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2160929>

- [94] De Toni, A., & Tonchia, S. (2001). Performance measurement systems-models, characteristics and measures. *International journal of operations & production management*, 21(1/2), 46-71. <https://doi.org/10.1108/01443570110358459>
- [95] Digalwar, A. K., & Sangwan, K. S. (2011). An overview of existing performance measurement frameworks in the context of world class manufacturing performance measurement. *International Journal of Services and Operations Management*, 9(1), 60-82. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2011.040322>
- [96] Dinmohammadi, F. (2023). Adopting Artificial Intelligence in Industry 4.0: Understanding the Drivers, Barriers and Technology Trends. In *2023 28th International Conference on Automation and Computing (ICAC)* (pp. 01-06). *IEEE*. <https://doi.org/10.1109/ICAC57885.2023.10275230>
- [97] Dishaw, M. T., & Strong, D. M. (1999). Extending the technology acceptance model with task–technology fit constructs. *Information & management*, 36(1), 9-21. [https://doi.org/10.1016/S0378-7206\(98\)00101-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7206(98)00101-3)
- [98] dos Santos, C. H., Gabriel, G. T., do Amaral, J. V. S., Montevechi, J. A. B., & de Queiroz, J. A. (2021). Decision-making in a fast fashion company in the Industry 4.0 era: A Digital Twin proposal to support operational planning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116, 1653-1666. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07543-z>
- [99] dos Santos, L. M. A. L., da Costa, M. B., Kothe, J. V., Benitez, G. B., Schaefer, J. L., Baierle, I. C., & Nara, E. O. B. (2021a). Industry 4.0 collaborative networks for industrial performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(2), 245-265. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2020-0156>
- [100] Duo, W., Zhou, M., & Abusorrah, A. (2022). A survey of cyber attacks on cyber physical systems: Recent advances and challenges. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 9(5), 784-800. <https://doi.org/10.1109/JAS.2022.105548>
- [101] Dwivedi, Y. K., Hughes, D. L., Coombs, C., Constantiou, I., Duan, Y., Edwards, J. S., Gupta, B., Lal, B., Misra, S., Prashant, P., Raman, R., Rana, N. P., Sharma, S. K., & Upadhyay, N. (2020). Impact of COVID-19 pandemic on information management research and practice: Transforming education, work and life. *International journal of information management*, 55, 102211. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102211>

- [102] Dwivedi, Y. K., Mustafee, N., Carter, L. D., & Williams, M. D. (2010). A bibliometric comparison of the usage of two theories of IS/IT acceptance (TAM and UTAUT). *AMCIS 2010 Proceedings*, 183.
- [103] Dwivedi, Y. K., Rana, N. P., Chen, H., & Williams, M. D. (2011). A Meta-analysis of the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT). In *Governance and Sustainability in Information Systems: IFIP WG 8.6 International Working Conference* (pp. 155-170). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-24148-2_10
- [104] Dwivedi, Y. K., Rana, N. P., Jeyaraj, A., Clement, M., & Williams, M. D. (2019). Re-examining the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT): Towards a revised theoretical model. *Information systems frontiers*, 21(3), 719-734. <https://doi.org/10.1007/s10796-017-9774-y>
- [105] Đaković, M. (2024). New industrial policy of Serbia: Possibilities and limitations. *Ekonomika preduzeća*, 72(3-4), 182-191. <https://doi.org/10.5937/EKOPRE2404182L>
- [106] Đuričin, D., & Vuksanović, H. I. (2018). Digital Serbia: Economic context adjustments for double GDP. *Economics of Enterprise*, 66(1-2), 19-41.
- [107] Ediriweera, A., & Wiewiora, A. (2021). Barriers and enablers of technology adoption in the mining industry. *Resources Policy*, 73, 102188. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102188>
- [108] El Naqa, I., & Murphy, M.J. (2015). What Is Machine Learning?. In: El Naqa, I., Li, R., Murphy, M. (eds) *Machine Learning in Radiation Oncology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18305-3_1
- [109] Engel, R., Fernández, P., Ruiz–Cortés, A., Megahed, A., & Ojeda-Perez, J. S. (2022). SLA-aware operational efficiency in AI-enabled service chains: Challenges ahead. *Information Systems and e-Business Management*, 20(1), 199–221. <https://doi.org/10.1007/s10257-022-00551-w>
- [110] European Agency for Safety and Health at Work (2020). *Healthy Workplaces Campaigns*. Доступно на: <https://osha.europa.eu/en> (Датум приступа: 25.2.2025.)
- [111] Fatima, Z., Tanveer, M. H., Waseemullah, Zardari, S., Naz, L. F., Khadim, H., Ahmed, N., & Tahir, M. (2022). Production plant and warehouse automation with IoT and industry 5.0. *Applied Sciences*, 12(4), 2053. <https://doi.org/10.3390/app12042053>

- [112] Fera, M., Greco, A., Caterino, M., Gerbino, S., Caputo, F., Macchiaroli, R., & D'Amato, E. (2019). Towards digital twin implementation for assessing production line performance and balancing. *Sensors*, 20(1), 97. <https://doi.org/10.3390/s20010097>
- [113] Find Warehouse. (2025). *Industrija i logistika po regionima u Srbiji: Beograd, Vojvodina, Centralna i Južna Srbija*. Доступно на: <https://findwarehouse.rs/industrija-i-logistika-po-regionima-u-srbiji-beograd-vojvodina-centralna-i-juzna-srbija/> (Датум приступа: 05.12.2025.)
- [114] Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research*. Addison-Wesley Publishing Company.
- [115] Flin, R., Mearns, K., O'Connor, P., & Bryden, R. (2000). Measuring safety climate: identifying the common features. *Safety science*, 34(1-3), 177-192. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(00\)00012-6](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00012-6)
- [116] Flower, D. J., & Sanjayan, J. G. (2007). Green house gas emissions due to concrete manufacture. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(5), 282-288. <https://doi.org/10.1065/lca2007.05.327>
- [117] Fortoul-Diaz, J. A., Carrillo-Martinez, L. A., Centeno-Tellez, A., Cortes-Santacruz, F., Olmos-Pineda, I., & Flores-Quintero, R. R. (2023). A smart factory architecture based on industry 4.0 technologies: open-source software implementation. *IEEE Access*, 11, 101727-101749. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3316116>.
- [118] Franceschini, F., Galetto, M., Maisano, D., & Neely, A. D. (2019). *Designing performance measurement systems*. Springer.
- [119] Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- [120] Freddi, D. (2018). Digitalisation and employment in manufacturing: Pace of the digitalisation process and impact on employment in advanced Italian manufacturing companies. *AI & Society*, 33(3), 393-403. <https://doi.org/10.1007/s00146-017-0740-5>
- [121] Fu, Y., Kok, R. A., Dankbaar, B., Ligthart, P. E., & van Riel, A. C. (2018). Factors affecting sustainable process technology adoption: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 205, 226-251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.268>

- [122] Gaber, M. M., Aneiba, A., Basurra, S., Batty, O., Elmisery, A. M., Kovalchuk, Y., & Rehman, M. H. U. (2018). Internet of Things and data mining: From applications to techniques and systems. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 9(3). <https://doi.org/10.1002/widm.1292>
- [123] Gamache, S. (2019). *Stratégies de mise en oeuvre de l'industrie 4.0 dans les petites et moyennes entreprises manufacturières québécoises*, doktorska disertacija. Kvebek: Université du Québec à Chicoutimi.
- [124] Gami, D., & Jain, A. (2022). *Digital transformation*. Доступно на: <https://ssrn.com/abstract=4243983> или <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4243983> (Датум приступа: 20.2.2025).
- [125] Gansser, O. A., & Reich, C. S. (2021). A new acceptance model for artificial intelligence with extensions to UTAUT2: An empirical study in three segments of application. *Technology in Society*, 65, 101535. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101535>
- [126] García-Muiña, F. E., Medina-Salgado, M. S., Ferrari, A. M., & Cucchi, M. (2020). Sustainability transition in industry 4.0 and smart manufacturing with the triple-layered business model canvas. *Sustainability*, 12(6), 2364. <https://doi.org/10.3390/su12062364>
- [127] Gardan, J. (2017). Additive manufacturing technologies: state of the art and trends. *Additive Manufacturing Handbook*, 149-168.
- [128] Garengo, P., Biazzo, S., & Bititci, U. S. (2005). Performance measurement systems in SMEs: A review for a research agenda. *International journal of management reviews*, 7(1), 25-47. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2005.00105.x>
- [129] Gavrus, C., Petre, I. M., & Pârv, L. (2024). Industry 4.0—Premise for Sustainability: Implementation Degree in Manufacturing Companies from Romania. *Sustainability*, 16(2), 807.
- [130] Ghelani, D. (2022). *Cyber security, cyber threats, implications and future perspectives: A Review*. Authorea Preprints. <https://doi.org/10.22541/au.166385207.73483369/v1>
- [131] Ghobakhloo, M. (2019). Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 58(8), 2384-2405. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630775>

- [132] Gligorijević, Ž., Ćorović, E., & Manasijević, A. (2020). Development processes in the industry of the Republic of Serbia during the first decade of the 21st century. *Teme*, 565-583. <https://doi.org/10.22190/TEME191106040G>
- [133] Glogovac, M., Ruso, J., & Maricic, M. (2022). ISO 9004 maturity model for quality in industry 4.0. *Total Quality Management & Business Excellence*, 33(5-6), 529-547. <https://doi.org/10.1080/14783363.2020.1865793>
- [134] Gohil, H. (2023). *Factors influencing the adoption of artificial intelligence for qualitative data analysis: a quantitative study using UTAUT model*. University of the Cumberlands. Доступно на: <https://www.proquest.com/openview/74700bde153755b48a5f003501b1d52e/1?cbl=18750&diss=y&pq-origsite=gscholar> (Датум приступа: 20.2.2025).
- [135] Golubović, D., Rajković, D., Đurđević, S., Gojković, R., & Moljević, S. (2013). An Approach To Performance Measurement of Standardized Management System. In *Proceedings of the 8th Scientific Conference with International Participation "Quality 2013"*, 71-76.
- [136] González-Albo, B., & Bordons, M. (2011). Articles vs. proceedings papers: Do they differ in research relevance and impact? A case study in the Library and Information Science field. *Journal of Informetrics*, 5(3), 369-381. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2011.01.011>
- [137] Gosselin, M. (2005). An empirical study of performance measurement in manufacturing firms. *International journal of productivity and performance management*, 54(5/6), 419-437. <https://doi.org/10.1108/17410400510604566>
- [138] Grau, A., Indri, M., Bello, L. L., & Sauter, T. (2020). Robots in industry: The past, present, and future of a growing collaboration with humans. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 15(1), 50-61. <https://doi.org/10.1109/MIE.2020.3008136>
- [139] Gray, C., & Mabey, C. (2005). Management development: key differences between small and large businesses in Europe. *International small business journal*, 23(5), 467-485. <https://doi.org/10.1177/0266242605055908>
- [140] Groover, M. P. (2007). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*, 3rd edition. John Wiley & Sons.
- [141] Gualtieri, L., Rauch, E., & Vidoni, R. (2021). Methodology for the definition of the optimal assembly cycle and calculation of the optimized assembly cycle time in

- human-robot collaborative assembly. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 113(7), 2369-2384. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06653-y>
- [142] Guo, Q., & Huang, W. (2024). Analyzing the Diffusion of Innovations Theory. *Scientific and Social Research*, 6(12), 95-98. <https://doi.org/10.26689/ssr.v6i12.8947>
- [143] Guo, Z., Wang, Q., Peng, C., Zhuang, S., & Yang, B. (2024). Willingness to accept metaverse safety training for construction workers based on extended UTAUT. *Frontiers in Public Health*, 11, 1294203. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1294203>
- [144] Gupta, A. K., & Garg, R. K. (2012). OEE improvement by TPM implementation: a case study. *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research*, 1(1), 115-124.
- [145] Gupta, H.N., Gupta, R.C. & Mittal, A. (2012). *Manufacturing Processes*, 2nd ed. New Delhi: New Age International Publishers.
- [146] Gupta, M., & Jauhar, S. K. (2023). Digital innovation: An essence for Industry 4.0. *Thunderbird International Business Review*, 65(3), 279-292. <https://doi.org/10.1002/tie.22337>
- [147] Gupta, S., & Starr, M. K. (2014). *Production and operations management systems* (Vol. 4). Boca Raton: CRC Press.
- [148] Gusnadi, Y., & Hermawan, A. (2019). Designing employee performance monitoring dashboard using key performance indicator (KPI). *bit-Tech*, 2(2), 81-88. <https://doi.org/10.32877/bt.v2i2.107>
- [149] Heizer, J., Render, B., Munson, C. L. (2020). *Operations management: Sustainability and supply chain management*, 12th ed. Harlow: Pearson Education.
- [150] Hair, J. F., Black, W., Babin, B., & Anderson, R. (2010). *Multivariate data analysis*, 7th ed. New York: Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River.
- [151] Hale, J., Householder, B., & Greene, K. (2002). The theory of reasoned action. In *The Persuasion Handbook: Developments in Theory and Practice* (pp. 259-286). SAGE Publications, Inc., <https://doi.org/10.4135/9781412976046>
- [152] Hamid, N. S. S., Aziz, F. A., & Azizi, A. (2014, August). Virtual reality applications in manufacturing system. In *2014 Science and Information Conference* (pp. 1034-1037). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SAI.2014.6918317>

- [153] Hänel, T. & Felden, C. (2016). Applying Operational Business Intelligence in Production Environments. In J. Gołuchowski, M. Pańkowska, C. Barry, M. Lang, H. Linger, & C. Schneider (Eds.), *Information Systems Development: Complexity in Information Systems Development (ISD2016 Proceedings)*. Katowice, Poland: University of Economics in Katowice.
- [154] Hedberg Jr, T., Helu, M., & Sprock, T. (2018). A standards and technology roadmap for scalable distributed manufacturing systems. In *International Manufacturing Science and Engineering Conference* (Vol. 51371, p. V003T02A019). American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/MSEC2018-6550>
- [155] Hendry, C., Woodward, S., Bradley, P., & Perkins, S. (2000). Performance and rewards: Cleaning out the stables. *Human Resource Management Journal*, 10(3), 46-62.
- [156] Hess, T., Matt, C., Benlian, A., & Wiesböck, F. (2016). Options for formulating a digital transformation strategy. *Mis quarterly executive*, 15(2), 123-139.
- [157] Hirzallah, M. N., & Alshurideh, M. T. R. (2023). The effects of the internal and the external factors affecting artificial intelligence (AI) adoption in e-innovation technology projects in the UAE? Applying both innovation and technology acceptance theories. *International Journal of Data and Network Science*, 7(3), 1321-1332. <https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2023.4.006>
- [158] Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the Current Status as well as Future Prospects on Logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- [159] Högg, R., Schmid, B., Stanoevska-Slabeva, K. (2010). *Erweiterung und Evaluation des Technologieakzeptanzmodells zur Anwendung bei mobilen Datendiensten*. St Gallen: Universität St Gallen Hochschule für Wirtschafts, Rechts- und Sozialwissenschaften (HSG).
- [160] Hoque, Z. (2010). Enhance competitive performance via critical key performance indicators. In: Durchslag, A., Reuters, T. (eds) *Effective operations and performance management*, 33-38. Bloomsbury Information Ltd., London.
- [161] Hossain, M. I., Hussain, M. I., & Akther, A. (2023). E-commerce platforms in developing economies: Unveiling behavioral intentions through Technology Acceptance Model (TAM). *Open Journal of Business and Management*, 11(6), 2988-3020. <http://doi.org/10.4236/ojbm.2023.116165>

- [162] Huang, S. H., Dismukes, J. P., Shi, J., Su, Q. I., Razzak, M. A., Bodhale, R., & Robinson, D. E. (2003). Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis. *International Journal of Production Research*, 41(3), 513-527. <https://doi.org/10.1080/0020754021000042391>
- [163] Hughes, L. C., & Preski, S. (1997). Using key informant methods in organizational survey research: Assessing for informant bias. *Research in nursing & health*, 20(1), 81-92. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-240X\(199702\)20:1<81::AID-NUR9>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-240X(199702)20:1<81::AID-NUR9>3.0.CO;2-Q)
- [164] Husár, J., & Knapčíková, L. (2021). Possibilities of using augmented reality in warehouse management: a study. *Acta Logistica*, 8(2), 133-139. <https://doi.org/10.22306/al.v8i2.212>
- [165] Im, I., Hong, S., & Kang, M. S. (2011). An international comparison of technology adoption: Testing the UTAUT model. *Information & Management*, 48(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.im.2010.09.001>
- [166] Indrati, A., Minaji, E., Binastuti, S., & Dwi Raharjo, P. (2011). Comparison of model unified theory of acceptance and use technology (UTAUT) And technology acceptance model (TAM) for internet adoption of credit union staff. *Proceedings of The First International Credit Union Conference on Social Microfinance and Community Development, BKCU Kalimantan - Gunadarma University*, 64-69.
- [167] International Monetary Fund (2023). *World Economic Outlook Database: Groups and Aggregates Information*. Доступно на: https://www.imf.org/en/publications/weo/weo-database/2023/april/groups-and-aggregates?utm_source=chatgpt.com (Датум приступа: 16.4.2025.)
- [168] Ishaq Bhatti, M., Awan, H. M., & Razaq, Z. (2014). The key performance indicators (KPIs) and their impact on overall organizational performance. *Quality & Quantity*, 48(6), 3127-3143. <https://doi.org/10.1007/s11135-013-9945-y>
- [169] Ivanov, S., Kuyumdzhev, M., & Webster, C. (2020). Automation fears: Drivers and solutions. *Technology in Society*, 63, 101431. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101431>
- [170] Jagatheesaperumal, S. K., Rahouti, M., Ahmad, K., Al-Fuqaha, A., & Guizani, M. (2021). The duo of artificial intelligence and big data for industry 4.0: Applications,

- techniques, challenges, and future research directions. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(15), 12861-12885. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3139827>
- [171] Jałowiec, T., & Wojtaszek, H. (2022). Analysis of Directional Activities for Industry 4.0 in the Example of Poland and Germany. *Sustainability*, 14(7), 3848. <https://doi.org/10.3390/su14073848>
- [172] Jakopin, E., & Bajec, J. (2009). Challenges of industrial development of Serbia. *Panoeconomicus*, 56(4), 507-525. <https://doi.org/10.2298/PAN0904507J>
- [173] Jan, Z., Ahamed, F., Mayer, W., Patel, N., Grossmann, G., Stumptner, M., & Kuusk, A. (2023). Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities. *Expert Systems with Applications*, 216, 119456. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119456>
- [174] Janković, N., Nikolić, I., & Rajković, T. (2024). Digital Transformation and Key Performance Indicators in Manufacturing: A Comprehensive Literature Review. In *Proceedings book of abstracts XIX International Symposium “Unlocking the Hidden Potential of Organization Through Merging of Humans And Digitals”, SYMORG 2024* (pp. 379-385). University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences.
- [175] Janković, N., Nikolić, I., & Rajković, T. (2025). Digital and Digital Transformation Key Performance Indicators: A Systematic Literature Review. In: Štavljanin, V., Mijatović, I., Luković, I. (eds) *Unlocking the Hidden Potentials of Organization Through Merging of Humans and Digitals. SymOrg 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*, 1680, 168-180. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-08093-6_11
- [176] Jeske, T., Würfels, M., & Lennings, F. (2021). Development of digitalization in production industry—Impact on productivity, management and human work. *Procedia Computer Science*, 180, 371-380. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.358>
- [177] Jones, M. D., Hutcheson, S., & Camba, J. D. (2021). Past, present, and future barriers to digital transformation in manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 936-948. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.006>
- [178] Joo, Y., Oh, S. H., Cho, M., & Kim, S. I. (2022). Manufacturing information-based energy usage simulation for energy-intensive steel casting process. *Journal of Cleaner Production*, 379, 134731. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134731>

- [179] Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., & Pal, D. K. (2015). Likert scale: Explored and explained. *British journal of applied science & technology*, 7(4), 396. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/14975>
- [180] Jung, H., Jeon, J., Choi, D., & Park, J. Y. (2021). Application of machine learning techniques in injection molding quality prediction: *Implications on sustainable manufacturing industry*. *Sustainability*, 13(8), 4120. <https://doi.org/10.3390/su13084120>
- [181] Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Securing the future of German manufacturing industry*. Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Acatech, Forschungsunion.
- [182] Kahraman, C., & Yavuz, M. (Eds.). (2010). *Production Engineering and management under fuzziness* (Vol.252). Springer.
- [183] Kahrović, E., & Avdović, A. (2023). Impact of digital technologies on business performance in Serbia. *Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, 28(2), 37-54.
- [184] Kanan, M., Dilshad, A. R., Zahoor, S., Hussain, A., Habib, M. S., Mehmood, A., Abusaq, Z., Hamdan, A., & Asad, J. (2023). An Empirical study of the implementation of an Integrated Ergo-Green-Lean Framework: a case study. *Sustainability*, 15(13), 10138. <https://doi.org/10.3390/su151310138>
- [185] Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2018). *Coming of Age Digitally*. MIT Sloan Management Review.
- [186] Kang, Z., Catal, C., & Tekinerdogan, B. (2020). Machine learning applications in production lines: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106773. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106773>
- [187] Kannengiesser, U., Frysak, J., Sary, C., Krenn, F., & Müller, H. (2021). Developing an engineering tool for Cyber-Physical Production Systems. *e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 138(2021), 330-340. <https://doi.org/10.1007/s00502-021-00911-3>
- [188] Kapo, A., Milutinovic, L. D., Rakovic, L., & Maric, S. (2024). Enhancing e-learning effectiveness: analyzing extrinsic and intrinsic factors influencing students'

- use, learning, and performance in higher education. *Education and Information Technologies*, 29(8), 10249-10276. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12224-3>
- [189] Karabegović, I. (2017). The role of industrial and service robots in fourth industrial revolution with focus on China. *Journal of Engineering and Architecture*, 5(2), 110-117. <https://doi.org/10.15640/jea.v5n2a9>
- [190] Kemmerer, R. A. (2003). Cybersecurity. In *25th International Conference on Software Engineering, 2003. Proceedings.* (705-715). IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ICSE.2003.1201257>
- [191] Kemper, H. G., Baars, H., & Lasi, H. (2013). An Integrated Business Intelligence Framework: Closing the Gap Between IT Support for Management and for Production. In *Business Intelligence and Performance Management: Theory, Systems and Industrial Applications* (pp. 13-26). London: Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4866-1_2
- [192] Kessler, S. K., & Martin, M. (2017). *How do potential users perceive the adoption of new technologies within the field of Artificial Intelligence and Internet-of-Things?-a revision of the UTAUT 2 model using voice assistants*. Lund: Lund University School of Economics and Management.
- [193] Khalilzadeh, J., Ozturk, A. B., & Bilgihan, A. (2017). Security-related factors in extended UTAUT model for NFC based mobile payment in the restaurant industry. *Computers in human behavior*, 70, 460-474. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.001>
- [194] Khan, R. A., & Quadri, S. M. (2012). Business intelligence: an integrated approach. *Business Intelligence Journal*, 5(1), 64-70.
- [195] Khang, A., Abdullayev, V., Hahanov, V., & Shah, V. (Eds.). (2024). *Advanced IoT technologies and applications in the industry 4.0 digital economy*. London: CRC Press.
- [196] Kim, S. H. (2014). A study on adoption factors of Korean smartphone users: A focus on TAM (Technology Acceptance Model) and UTAUT (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology). *Advanced Science and Technology Letters*, 57(1), 27-30. <http://dx.doi.org/10.14257/astl.2014.57.07>
- [197] Kinkel, S., Baumgartner, M., & Cherubini, E. (2022). Prerequisites for the adoption of AI technologies in manufacturing—Evidence from a worldwide sample of

- manufacturing companies. *Technovation*, 110, 102375. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102375>
- [198] Kitchenham, B., Brereton, O. P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. *Information and software technology*, 51(1), 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>
- [199] Kline, R. B. (2023). *Principles and practice of structural equation modeling*. New York: Guilford publications.
- [200] Koch, M. T., Baars, H., Lasi, H., & Kemper, H. G. (2010). Manufacturing execution systems and business intelligence for production environments. In the Proceedings of the *Sixteenth Americas Conference on Information Systems*, Lima, Peru, 1-10.
- [201] Крчевинац, С., Чангаловић, М., Ковачевић-Вујчић, В., Марић, М., & Вујошевић, М. (2010). *Операциона истраживања 2*. Београд: Факултет организационих наука, Универзитет у Београду. ISBN: 978-86-7680-210-4
- [202] Krol, F., Saeed, M. A., & Kersten, W. (2020). A holistic digitalization KPI framework for the aerospace industry. In Data Science and Innovation in Supply Chain Management: How Data Transforms the Value Chain. Proceedings of the *Hamburg International Conference of Logistics (HICL)*, 29 (pp. 797-847). Berlin: epubli GmbH. <https://doi.org/10.15480/882.3109>
- [203] Krstić, S., & Fedajev, A. (2020). The role and importance of large companies in the economy of the Republic of Serbia. *Serbian Journal of Management*, 15(2), 335-352. <https://doi.org/10.5937/sjm15-19553>
- [204] Krzywdzinski, M., & Butollo, F. (2022). Combining Experiential Knowledge and Artificial Intelligence. The Digital Transformation of a Traditional Machine-Building Company. *Management Revue*, 33(2), 161-184. <https://doi.org/10.5771/0935-9915-2022-2-161>
- [205] Kufel, J., Bargieł-Łączek, K., Kocot, S., Koźlik, M., Bartnikowska, W., Janik, M., Czogalik, L., Dudek, P., Magiera, M. Lis, A., Paszkiewicz, I., Nawrat, Z., Cebula, M. & Gruszczyńska, K. (2023). What is machine learning, artificial neural networks and deep learning?—Examples of practical applications in medicine. *Diagnostics*, 13(15), 2582. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13152582>

- [206] Kumar, S. A., & Suresh, N. (2006). *Production and operations management*. New Age International.
- [207] Kuo, T. C., Hsu, N. Y., Li, T. Y., & Chao, C. J. (2021). Industry 4.0 enabling manufacturing competitiveness: Delivery performance improvement based on theory of constraints. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 152-161. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.05.009>
- [208] Kutlača, D., Semenčenko, D., & Živković, L. (2020). ICT as challenging driver for social transformations in Serbia. *Society and Technology*, 124-150.
- [209] Kwarteng, M. A., Plata Lerma, D. F., Ratilla, M., Novak, P., & Zlámál, L. (2022). Extending the UTAUT model to understand the barriers towards SME digitalization. *Serbian Journal of Management* 17(2), 403-424. <https://doi.org/10.5937/sjm17-37629>
- [210] Kwok, T. H., & Gaasenbeek, T. (2023). A production interface to enable legacy factories for industry 4.0. *Engineering Research Express*, 5(4), 045019. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/acfec>
- [211] Lange, C., Barthelmäs, P., Rosnitschek, T., Tremmel, S., & Rieg, F. (2021). Impact of HPC and Automated CFD Simulation Processes on Virtual Product Development—A Case Study. *Applied Sciences*, 11(14), 6552. <https://doi.org/10.3390/app11146552>
- [212] Лечић-Цветковић, Д., & Атанасов, Н. (2015). *Управљање производњом и пружањем услуга*. Београд: Факултет организационих наука.
- [213] Lečić-Cvetković, D., Cvetković, J., Janičić, R., Jovanović, V., Rajković, T., & Vukčević, M. (2024). The comparison of the selected key performance indicators between the primary health care centers in Belgrade. *Srpski Arhiv Za Celokupno Lekarstvo*, 00, 1. <https://doi.org/10.2298/sarh2203010011>
- [214] Lee, E. A. (2015). The past, present and future of cyber-physical systems: A focus on models. *Sensors*, 15(3), 4837-4869. <https://doi.org/10.3390/s150304837>
- [215] Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- [216] Lee, A. T., Ramasamy, R. K., & Subbarao, A. (2025, January). Understanding psychosocial barriers to healthcare technology adoption: A review of TAM technology

- acceptance model and unified theory of acceptance and use of technology and UTAUT frameworks. *Healthcare*, 13(3), 250. <https://doi.org/10.3390/healthcare13030250>
- [217] Leflar, J. (2001). *Practical TPM: successful equipment management at Agilent Technologies*. Portland: CRC Press.
- [218] Leutert, F., Bohlig, D., Kempf, F., Schilling, K., Mühlbauer, M., Ayan, B., Hulin, T., Stulp, F., Albu-Schäffer, A., Kutscher, V., Plesker, C., Dasbach, T., Damm, S., Anderl, R. & Schleich, B. (2024). AI-enabled Cyber–Physical In-Orbit Factory-AI approaches based on digital twin technology for robotic small satellite production. *Acta Astronautica*, 217, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2024.01.019>
- [219] Levkovskyi, B., Hinrichs, M., Betzwieser, B., & Utesch, M. C. (2021). Companies in Transition: Understanding how the Digital Transformation Affects Business Processes and Their Key Performance Indicators. In *AMCIS 2021 Proceedings*, 8.
- [220] Lewis, J. A. (2006). Cybersecurity and critical infrastructure protection. *Center for Strategic and International Studies*, 9, 18.
- [221] Lezzi, M., Lazoi, M., & Corallo, A. (2018). Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework. *Computers in Industry*, 103, 97-110.
- [222] Li, C., Chen, Y., & Shang, Y. (2022). A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 29, 101021. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.06.001>
- [223] Li, L., Min, X., Guo, J., & Wu, F. (2024). The influence mechanism analysis on the farmers' intention to adopt Internet of Things based on UTAUT-TOE model. *Scientific reports*, 14(1), 15016. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65415-4>
- [224] Li, X., Shen, L., & Ren, X. (2025). Explore the fashion industry's behavioral intention to use artificial intelligence generated content tools based on the UTAUT model. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 41(16), 10285-10300. <https://doi.org/10.1080/10447318.2024.2432759>
- [225] Li, S., Xu, L. D., & Zhao, S. (2015). The internet of things: a survey. *Information systems frontiers*, 17, 243-259. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7>
- [226] Libert, B., Beck, M., & Wind, Y. (2016). *7 Questions to ask before your next digital transformation*. Доступно на: <http://hbr.org/2016/07/7-questions-to-ask-before-your-next-digital-transformation> (Датум приступа: 15.8.2023.)

- [227] Liere-Netheler, K., Packmohr, S., & Vogelsang, K. (2018). Drivers of digital transformation in manufacturing. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences* (1999). <https://doi.org/10.24251/hicss.2018.493>
- [228] Likar, B., Hafner, A., Ropret, M., Fatur, P., Markič, M., & Pušavec, F. (2023). Smart innovation management for better business performance. *Journal of East European Management Studies*, 28(3), 533-556. <https://doi.org/10.5771/0949-6181-2023-3-533>
- [229] Ling, L. W., Downe, A. G., Ahmad, W. F. W., & Lai, T. T. (2011, September). Determinants of computer usage among educators: A comparison between the UTAUT and TAM models. In *2011 National Postgraduate Conference* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/NatPC.2011.6136322>
- [230] Liu, M., Fang, S., Dong, H., & Xu, C. (2021). Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 346-361. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.017>
- [231] Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of industrial information integration*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- [232] Luo, M. M., Chea, S., & Chen, J. S. (2011). Web-based information service adoption: A comparison of the motivational model and the uses and gratifications theory. *Decision Support Systems*, 51(1), 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.11.015>
- [233] Luszczynska, A., & Schwarzer, R. (2015). Social cognitive theory. In: Conner, M. & Norman, P. eds.: *Predicting and changing health behaviour: Research and practice with social cognition models*, 3rd ed. (p. 225-247).
- [234] Мацановић, К. Б., Мишетић, Д., Бајић, Е. и Лукић, М. (2023). Утицај дигитализације на ефикасност малих и средњих предузећа. *Зборник радова Улога науке у развоју савременог друштва*, 61–69.
- [235] Machado, C. G., Winroth, M., Carlsson, D., Almström, P., Centerholt, V., & Hallin, M. (2019). Industry 4.0 readiness in manufacturing companies: Challenges and enablers towards increased digitalization. *Procedia CIRP*, 81, 1113-1118. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.262>

- [236] Madden, A. D. (2000). A definition of information. In *Aslib Proceedings*, 52(9), 343-349.
- [237] Mahboub, H., Sadok, H., Chehri, A., & Saadane, R. (2023). Measuring the Digital Transformation: A Key Performance Indicators Literature Review. *Procedia Computer Science*, 225, 4570-4579. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.455>
- [238] Mahmood, K., Karaulova, T., Otto, T., & Shevtshenko, E. (2019). Development of cyber-physical production systems based on modelling technologies. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 68(4). <https://doi.org/10.3176/proc.2019.4.02>
- [239] Maksimchuk, O., & Pershina, T. (2017). A New Paradigm of Industrial System Optimization Based on the Conception "Industry 4.0". In: *MATEC Web of Conferences - International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017)*, 129, 04006. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201712904006>
- [240] Mantravadi, S., & Møller, C. (2019). An overview of next-generation manufacturing execution systems: How important is MES for industry 4.0? *Procedia Manufacturing*, 30, 588-595. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.083>
- [241] Marangunić, N., & Granić, A. (2015). Technology acceptance model: a literature review from 1986 to 2013. *Universal access in the information society*, 14, 81-95.
- [242] Маричић, М., Игњатовић, М., & Јеремић, В. (2022). *Модели статистичког учења*. Београд: Академска мисао. ISBN: 978-86-7466-925-9
- [243] Marjanovic, U., Lalic, B., Delić, M., & Tasic, N. (2017). Industry 4.0: evidence from transitional economy. *International Journal of Global Business*, 10(1), 26-36.
- [244] Marshall, M. N. (1996). The key informant technique. *Family practice*, 13, 92-97.
- [245] Marti-Puig, P., Touhami, I. A., Perarnau, R. C., & Serra-Serra, M. (2024). Industrial AI in condition-based maintenance: A case study in wooden piece manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 188, 109907. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.109907>
- [246] Marzialia, M., Rossit, D. A., & Toncovich, A. A. (2022). Order picking and loading-dock arrival punctuality performance indicators for supply chain management: A case study. *Engineering Management in Production and Services*, 14(1), 26–37. <https://doi.org/10.2478/emj-2022-0003>

- [247] Maskell, B. H. (2013). *Performance measurement for world class manufacturing: A model for American companies*. Productivity press.
- [248] Matsuo, Y., & Ishizuka, M. (2004). Keyword extraction from a single document using word co-occurrence statistical information. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 13(01), 157-169. <https://doi.org/10.1142/S0218213004001466>
- [249] Mayr, A., Kißkalt, D., Meiners, M., Lutz, B., Schäfer, F., Seidel, R., Selmaier, A., Fuchs, J., Metzner, M., Blank, A. & Franke, J. (2019). Machine learning in production—potentials, challenges and exemplary applications. *Procedia CIRP*, 86, 49-54. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.035>
- [250] McKinsey Global Institute (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*. Доступно на: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation> (Датум приступа: 12.4.2025.)
- [251] Mearns, K., Whitaker, S. M., & Flin, R. (2003). Safety climate, safety management practice and safety performance in offshore environments. *Safety science*, 41(8), 641-680. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(02\)00011-5](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(02)00011-5)
- [252] Medić, N., Anišić, Z., & Tešić, S. (2017). Survey of some key concepts of industry 4.0 in manufacturing companies from developing country. In *4th International conference and workshop mechatronics in practice and education* (pp. 107-111).
- [253] Међународни монетарни фонд (2023). *Country composition on WEO groups*. Доступно на: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weodatabase/2023/April/groups-and-aggregates> (Датум приступа: 25.7.2025.)
- [254] Михаиловић, Д. (2012). *Методологија научних истраживања*. Београд: Факултет организационих наука.
- [255] Милеуснић, Н. (1974). *Планирања и припрема производње*. Београд: Привредни преглед.
- [256] Milošević, I. (2022). The effects of familiarity of Industry 4.0 technologies on behaviour intention of SMEs in Serbia. Chapter in Monograph: *Possibilities and barriers for Industry 4.0 implementation in SMEs in V4 countries and Serbia*, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor, Republic of Serbia, 181-206.
- [257] Министарство привреде Републике Србије. (2024). *Стратегија индустријске политике Републике Србије од 2021. до 2030. године*. Доступно на:

- <https://privreda.gov.rs/wpcontent/uploads/2020/05/Industrijska-Strategija-Vlade-Srbije-F01.pdf> (Датум приступа: 21.4.2024.)
- [258] Miqueo, A., Torralba, M., & Yagüe-Fabra, J. A. (2020). Lean manual assembly 4.0: A systematic review. *Applied Sciences*, 10(23), 8555. <https://doi.org/10.3390/app10238555>
- [259] Mohrman, A. M. J., & Mohrman, S. A. (2004). Self-designing a performance management system. Adler N., Shani AB (Rami), Styhre A.(Eds.) *Collaborative Research in Organizations: Foundations for Learning, Change, and Theoretical Development*, Thousand Oaks (CA): Sage.
- [260] Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. *Scientometrics*, 106, 213-228. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- [261] Mourtzis, D., Milas, N., & Vlachou, A. (2018). An internet of things-based monitoring system for shop-floor control. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 18(2), 021005. <https://doi.org/10.1115/1.4039429>
- [262] Moyne, J., & Iskandar, J. (2017). Big data analytics for smart manufacturing: Case studies in semiconductor manufacturing. *Processes*, 5(3), 39. <https://doi.org/10.3390/pr5030039>
- [263] Muchiri, P., & Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. *International journal of production research*, 46(13), 3517-3535. <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>
- [264] Mujber, T. S., Szecsi, T., & Hashmi, M. S. (2004). Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of materials processing technology*, 155, 1834-1838. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.401>
- [265] Munkholm, M., Löfgren, B., & Fisher, A. G. (2012). Reliability of the School AMPS measures. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, 19(1), 2-8.
- [266] Nakajima, S. (1988). *An Introduction to TPM*. Productivity Press, Portland, OR.
- [267] Neely, A. (2002). *Business Performance Measurement – Theory and Practice*. Cambridge University Press, United Kingdom.
- [268] Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (2005). Performance measurement system design: A literature review and research agenda. *International journal of operations &*

- production management*, 25(12), 1228-1263.
<https://doi.org/10.1108/01443570510633639>
- [269] Ng Corrales, L. D. C., Lambán, M. P., Morella, P., Royo, J., Sánchez Catalán, J. C., & Hernandez Korner, M. E. (2022). Developing and implementing a lean performance indicator: overall process effectiveness to measure the effectiveness in an operation process. *Machines*, 10(2), 133. <https://doi.org/10.3390/machines10020133>
- [270] НИС (2023). *Нове технологије у Рафинерији нафте Панчево препознају квар и пре него што се догоди*. Нафтна индустрија Србије. Доступно на: <https://www.nis.rs/blog/nove-tehnologije-u-rafineriji-nafte-pancevo-prepoznaju-kvar-i-pre-nego-sto-se-dogodi> (Датум приступа: 12.1.2023.)
- [271] Niu, L., Lu, J., & Zhang, G. (2009). Cognition-driven decision support for business intelligence: Models, Techniques, Systems and Applications. In *Studies in Computational Intelligence*, Springer, Berlin, 19-29. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-03208-0>
- [272] Nowacki, K. (2021). Accident risk in the production sector of EU countries—cohort studies. *International journal of environmental research and public health*, 18(7), 3618. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073618>
- [273] Nysveen, H., & Pedersen, P. E. (2016). Consumer adoption of RFID-enabled services. Applying an extended UTAUT model. *Information Systems Frontiers*, 18(2), 293-314. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9531-4>
- [274] Obitko, M., & Jirkovský, V. (2015, August). Big data semantics in industry 4.0. In *International conference on industrial applications of holonic and multi-agent systems* (pp. 217-229). Cham: Springer International Publishing. .
https://doi.org/10.1007/978-3-319-22867-9_19
- [275] OECD (2017). *The next production revolution: implications for governments and business*. OECD Publishing, Paris.
- [276] Ofori, G. (Ed.). (2012). *Contemporary Issues in Construction in Developing Countries*. Routledge.
- [277] Okumus, B., Ali, F., Bilgihan, A., & Ozturk, A. B. (2018). Psychological factors influencing customers' acceptance of smartphone diet apps when ordering food at restaurants. *International Journal of Hospitality Management*, 72, 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2018.01.001>

- [278] Olivier, J. G. J., & Peters, J. A. H. W. (2020). *Trends in global CO2 and total greenhouse gas emissions-2020 Report*. Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. Доступно на: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-trends-in-global-CO2-and-total-greenhouse-gas-emissions-2020-report_4331.pdf (Датум приступа: 27.12.2025.)
- [279] Омербеговић-Бијеловић, Ј. (2006). *Планирање и припрема производње и услуга*. Београд: Факултет организационих наука.
- [280] Or, C. K., Karsh, B. T., Severtson, D. J., Burke, L. J., Brown, R. L., & Brennan, P. F. (2011). Factors affecting home care patients' acceptance of a web-based interactive self-management technology. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 18(1), 51-59. <https://doi.org/10.1136/jamia.2010.007336>
- [281] Osmolski, W., & Kolinski, A. (2020). *Logistics 4.0–Digitalization Of The Supply Chains*. Business Logistics in Modern Management.
- [282] Oye, N. D., Iahad, N. A., & Ab. Rahim, N. (2014). The history of UTAUT model and its impact on ICT acceptance and usage by academicians. *Education and Information Technologies*, 19, 251-270. <https://doi.org/10.1007/s10639-012-9189-9>
- [283] Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 127-182. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
- [284] Palčić, I., Buchmeister, B., Ojsteršek, R., & Kovič, K. (2022). Manufacturing company Industry 4.0 readiness: case from Slovenia, Croatia and Serbia. *Special Editions ASAB&H CCII, DTS*, 20, 25-34. <https://doi.org/10.5644/PI2022.202.18>
- [285] Panneerselvam, R. (2012). *Production and operations management*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- [286] Параграф. (2010). *Уредба о класификацији делатности*, „Сл. Гласник РС“, бр. 54/2010. Доступно на: https://www.paragraf.rs/propisi/uredba_o_klasifikaciji_delatnosti.html (Датум приступа: 21.3.2025.)
- [287] Park, K. T., Nam, Y. W., Lee, H. S., Im, S. J., Noh, S. D., Son, J. Y., & Kim, H. (2019). Design and implementation of a digital twin application for a connected micro smart factory. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(6), 596-614. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2019.1599439>

- [288] Parmenter, D. (2015). *Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs*, 2nd edition. Hoboken, New York: John Wiley & Sons.
- [289] Patalas-Maliszewska, J., & Topczak, M. (2021). A new management approach based on Additive Manufacturing technologies and Industry 4.0 requirements. *Advances in Production Engineering & Management*, 16(1), 125-135, <https://doi.org/10.14743/apem2021.1.389>
- [290] Peres, R. S., Jia, X., Lee, J., Sun, K., Colombo, A. W., & Barata, J. (2020). Industrial artificial intelligence in industry 4.0 - Systematic review, challenges and outlook. *IEEE Access*, 8, 220121-220139. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042874>
- [291] Perno, M., Hvam, L., & Haug, A. (2023). A machine learning digital twin approach for critical process parameter prediction in a catalyst manufacturing line. *Computers in Industry*, 151, 103987. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103987>
- [292] Pfohl, H. C., Yahsi, B. and Kurnaz, T. (2017). Concept and diffusion-factors of industry 4.0 in the supply chain. In *Freitag, M., Kotzab, H. and Pannek, J. (Eds), Dynamics in Logistics, Springer, Cham*, 381-390. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45117-6_33
- [293] Pinzone, M., Albè, F., Orlandelli, D., Barletta, I., Berlin, C., Johansson, B., & Taisch, M. (2020). A framework for operative and social sustainability functionalities in Human-Centric Cyber-Physical Production Systems. *Computers & industrial engineering*, 139, 105132. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.03.028>
- [294] Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Lee, J. Y., & Podsakoff, N. P. (2003). Common method biases in behavioral research: a critical review of the literature and recommended remedies. *Journal of applied psychology*, 88(5), 879-903. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.5.879>
- [295] Polini, W., & Corrado, A. (2020). Digital twin of composite assembly manufacturing process. *International Journal of Production Research*, 58(17), 5238-5252. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1714091>
- [296] Prentice, S. (2022). The Fear of Losing Control. *The Future of Workplace Fear: How Human Reflex Stands in the Way of Digital Transformation* (pp. 115-130). Berkeley, CA: Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8101-7_8

- [297] Привредна комора Србије (2019). *Програм подршке дигиталној трансформацији ММСП 2019/2020*. Доступно на: <https://www.pks.rs/vesti/program-podrske-digitalnoj-transformaciji-mm-sp-20192020-1652> (Датум приступа: 27.7.2025.)
- [298] Привредна комора Србије (2020). *Speed 2.0 – бесплатни консултантски програм за микро, мала и средња предузећа*. Доступно на: <https://pks.rs/vesti/speed-20-besplatni-konsultantski-program-za-mikro-mala-i-srednja-preduzeca-3499> (Датум приступа: 27.7.2025.)
- [299] Prokopović, Ž., Prokopović, K., & Prokopović, B. (2020). Serbia and the fourth industrial revolution. *Journal of Research and Innovation for Sustainable Society*, 2(1), 11-15. <https://doi.org/10.33727/JRISS.2020.1.2:11-15>
- [300] Qi, Q., Tao, F., Hu, T., Anwer, N., Liu, A., Wei, Y., Wang, L., & Nee, A.Y.C. (2019). Enabling technologies and tools for digital twin. *Journal of Manufacturing Systems*, 58(B), 3-21. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.10.001>
- [301] Qi, Q., Tao, F., Zuo, Y., & Zhao, D. (2018). Digital twin service towards smart manufacturing. *Procedia CIRP*, 72, 237-242. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.103>
- [302] Queiroz, M. M., & Pereira, S. C. F. (2020). Intention to adopt big data in supply chain management: A Brazilian perspective. *Revista de Administração de Empresas*, 59, 389-401. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020190605>
- [303] Rađenović, I., Lečić-Cvetković, D., Rajković, T., & Aničić, N. (2023). Textile industry and coronavirus—the impact of the pandemic on sales performance: a case study of Inditex. *Industria Textila*, 74(3), 259-266. <https://doi.org/10.35530/IT.074.03.202237>
- [304] Rai, R., Tiwari, M. K., Ivanov, D., & Dolgui, A. (2021). Machine learning in manufacturing and industry 4.0 applications. *International Journal of Production Research*, 59(16), 4773-4778. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1956675>
- [305] Рајковић, Т. (2024). Дигитализација и аутоматизација – примена Индустрије 4.0 за унапређење управљања производњом. *XVIII саветовање „Одрживи развој Браничевског круга енергетског комплекса Костолац“*, позивно предавање. ISBN 978-86-902797-9-1

- [306] Rajković, T., Đorđević Milutinović, L. & Lečić-Cvetković, D. (2020). Spreadsheet model for determining adequate performance indicators of production management. *Management: Journal of Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, 25(3), 13-22. <https://doi.org/10.7595/management.fon.2020.0011>
- [307] Рајковић, Т., Лечић-Цветковић, Д. и Калем, М. (2023). Дигитални близанац: примена савремене технологије у производњи. Зборник радова *XIV скупа привредника и научника „Дигитални и зелени развој привреде“*, СПИН 2023, 879–886.
- [308] Rajković, T., Lečić-Cvetković, D., & Radosavljević, J. (2019). Improvement of the Production Management in the Automotive Industry Based on KPIs. In *Proceedings book of 38th International Conference on Organizational Science Development, Conference Proceedings*, pp. 861-871. <https://doi.org/10.18690/978-961-286-250-3.66>
- [309] Rajković, T., Nikolić, I., Janković, N., & Lečić-Cvetković, D. (2024). Implementation of Industry 4.0: Examples from the Serbian manufacturing industry. *43rd International Conference on Organizational Science Development*, 847-859. <https://doi.org/10.18690/um.fov.3.2024>
- [310] Rajković, T., Makajić-Nikolić, D., Lečić-Cvetković, D., & Aničić, N. (2025). The most commonly used Industry 4.0 technologies in manufacturing: A systematic literature review. *Advances in Production Engineering & Management*, 20(4), 507-528. <https://doi.org/10.14743/apem2025.4.555>.
- [311] Rajković, T., Radovanović, S., Lečić-Cvetković, D., & Suknović, S. (2025a). Determinants of Digital Technologies Adoption in Manufacturing Companies: Empirical Research Based on Expanded UTAUT Model. *Journal of East European Management Studies*, 30(4), 41522. <https://doi.org/10.31083/JEEMS41522>.
- [312] Rajković, T., Vasiljević, D., & Lečić-Cvetković, D. (2023). Logistics 4.0–Smart Transformation of Logistics and Supply Chain Management. In *International Symposium SymOrg*, 386-402. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18645-5_24
- [313] Rakićević, Z., Anđelić, O., Popović, G., & Branković, B. (2023). The influence of COVID-19 on production operations planning. *Management: Journal of*

- Sustainable Business and Management Solutions in Emerging Economies*, 28(2), 23-36. <https://doi.org/10.7595/management.fon.2022.0008>
- [314] Ramis Ferrer, B., Muhammad, U., Mohammed, W. M., & Martínez Lastra, J. L. (2018). Implementing and visualizing ISO 22400 key performance indicators for monitoring discrete manufacturing systems. *Machines*, 6(3), 39. <https://doi.org/10.3390/machines6030039>
- [315] Rejman Petrović, D., Krstić, A., Nedeljković, I., & Mimović, P. (2022). Efficiency of digital business transformation in the Republic of Serbia. *VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems*, Ahead-of-print(ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/VJIKMS-12-2021-0292>
- [316] Ren, L., Zhang, L., Wang, L., Tao, F., & Chai, X. (2017). Cloud manufacturing: key characteristics and applications. *International journal of computer integrated manufacturing*, 30(6), 501-515. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2014.902105>
- [317] Ritchie, H., & Roser, M. (2017). *CO₂ and other greenhouse gas emissions - Our world in data*. Доступно на: <https://www.sesync.org/sites/default/files/case-studies/Evidence%20of%20Global%20Warming%20in%20VA%20Case%20Study%20%E2%80%93%20Supplemental%20Document%202.pdf> (Датум приступа: 26.12.2025.)
- [318] Robinson Jr, R. B., & Pearce, J. A. (1988). Planned patterns of strategic behavior and their relationship to business-unit performance. *Strategic management journal*, 9(1), 43-60. <https://doi.org/10.1002/smj.4250090105>
- [319] Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of Innovations*. The Free Press of Glencoe, New York.
- [320] Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International journal of interactive mobile technologies*, 11(5). <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>
- [321] Ronaghi, M. H., & Forouharfar, A. (2020). A contextualized study of the usage of the Internet of things (IoTs) in smart farming in a typical Middle Eastern country within the context of Unified Theory of Acceptance and Use of Technology model (UTAUT). *Technology in Society*, 63, 101415. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101415>

- [322] Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). The internet of things: An overview. *The internet society (ISOC)*, 80(15), 1-53.
- [323] Rosienkiewicz, M. (2021). Artificial intelligence-based hybrid forecasting models for manufacturing systems. *Eksploatacja i Niezawodność*, 23(2), 263-277. <https://doi.org/10.17531/ein.2021.2.6>
- [324] Roy, R. B., Mishra, D., Pal, S. K., Chakravarty, T., Panda, S., Chandra, M. G., Pal, A., Misra, P., Chakravarty, D., & Misra, S. (2020). Digital twin: current scenario and a case study on a manufacturing process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 107, 3691-3714. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05306-w>
- [325] Roztocki, N., & Weistroffer, H. R. (2011). Information technology success factors and models in developing and emerging economies. *Information Technology for Development*, 17(3), 163-167.
- [326] Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston consulting group*, 9(1), 54-89.
- [327] Rutter, D. R., & Bunce, D. J. (1989). The theory of reasoned action of Fishbein and Ajzen: A test of Towriss's amended procedure for measuring beliefs. *British Journal of Social Psychology*, 28(1), 39-46. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8309.1989.tb00844.x>
- [328] Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary educational psychology*, 25(1), 54-67. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>
- [329] Sahu, C. K., Young, C., & Rai, R. (2021). Artificial intelligence (AI) in augmented reality (AR)-assisted manufacturing applications: a review. *International journal of production research*, 59(16), 4903-4959. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1859636>
- [330] Salama, R., Altrjman, C., & Al-Turjman, F. (2023). An overview of the internet of things (IoT) and machine to machine (M2M) communications. *NEU Journal for Artificial Intelligence and Internet of Things*, 2(3).

- [331] Salkin, C., Oner, M., Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2018). A conceptual framework for Industry 4.0. In *Industry 4.0: managing the digital transformation*, 3-23. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_1
- [332] Salwin, M., Pszczółkowska, K., Pałęga, M., & Kraslawski, A. (2023). Value-Stream mapping as a tool to improve production and energy consumption: A case study of a manufacturer of industrial hand tools. *Energies*, 16(21), 7292. <https://doi.org/10.3390/en16217292>
- [333] Sanchez-Gonzalez, P., Díaz-Gutiérrez, D., & Núñez-Rivas, L. R. (2022). Digitalizing Maritime Containers Shipping companies: Impacts on their processes. *Applied Sciences*, 12(5), 2532. <https://doi.org/10.3390/app12052532>
- [334] Sangwan, K. S., & Digalwar, A. K. (2008). Evaluation of world-class manufacturing systems: a case of Indian automotive industries. *International Journal of Services and Operations Management*, 4(6), 687-708. <https://doi.org/10.1504/IJSOM.2008.018725>
- [335] Sarabia-Jácome, D., Palau, C. E., Esteve, M., & Boronat, F. (2020). Seaport data space for improving logistic maritime operations. *IEEE Access*, 8, 4372–4382. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2963283>
- [336] Schneier, M., & Bostelman, R. (2015). *Literature review of mobile robots for manufacturing* (Vol. 210). Gaithersburg, MD, USA: US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology. <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.IR.8022>
- [337] Schöggel, J. P., Rusch, M., Stumpf, L., & Baumgartner, R. J. (2023). Implementation of digital technologies for a circular economy and sustainability management in the manufacturing sector. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 401-420. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.11.012>
- [338] Schöggel, J. P., Stumpf, L., & Baumgartner, R. J. (2024). The role of interorganizational collaboration and digital technologies in the implementation of circular economy practices—Empirical evidence from manufacturing firms. *Business Strategy and the Environment*, 33(3), 2225-2249. <https://doi.org/10.1002/bse.3593>
- [339] Schrage, M., Muttreja, V., & Kwan, A. (2022). *How the wrong KPIs doom digital transformation*. MIT Sloan Management Review.

- [340] Schumacher, A., & Sihn, W. (2020). Development of a monitoring system for implementation of industrial digitalization and automation using 143 key performance indicators. *Procedia CIRP*, 93, 1310-1315.
- [341] Schwarz, A., & Chin, W. W. (2007). Looking forward: Toward an understanding of the nature and definition of IT acceptance. *Journal of the Association for Information Systems*.
- [342] Schwertner, K. (2017). Digital transformation of business. *Trakia Journal of Sciences*, 15(1), 388-393. doi:10.15547/tjs.2017.s.01.065
- [343] Semeraro, C., Lezoche, M., Panetto, H., & Dassisti, M. (2021). Digital twin paradigm: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 130, 103469. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103469>
- [344] Serbia Business. (2025). *Industrial land & special economic zones in Serbia: The new manufacturing geography reshaping the country's economy (2025-2035)*. Доступно на: <https://serbia-business.eu/industrial-land-special-economic-zones-in-serbia-the-new-manufacturing-geography-reshaping-the-countrys-economy-2025-2035/> (Датум приступа: 05.12.2025.)
- [345] Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J., and Wang, L. (2012). Modeling, simulation, information technology & processing roadmap. *National Aeronautics and Space Administration*, 32, 1-38.
- [346] Shamim, S., Zeng, J., Shariq, S. M., & Khan, Z. (2019). Role of big data management in enhancing big data decision-making capability and quality among Chinese firms: A dynamic capabilities view. *Information & Management*, 56(6), 103135. <https://doi.org/10.1016/j.im.2018.12.003>
- [347] Shao, G., & Helu, M. (2020). Framework for a digital twin in manufacturing: Scope and requirements. *Manufacturing Letters*, 24, 105-107. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2020.04.004>
- [348] Shi, Z., Xie, Y., Xue, W., Chen, Y., Fu, L., & Xu, X. (2020). Smart factory in Industry 4.0. *Systems Research and Behavioral Science*. <https://doi.org/10.1002/sres.2704>
- [349] Siedler, C., Langlotz, P., & Aurich, J. C. (2020). Modeling and assessing the effects of digital technologies on KPIs in manufacturing systems. *Procedia CIRP*, 93, 682-687. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.008>

- [350] Simmons, R. (2000). *Performance Measurement and Control Systems for Implementing Strategy*. Prentice Hall.
- [351] Singh, V. K., Singh, P., Karmakar, M., Leta, J., & Mayr, P. (2021). The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*, 126, 5113–5142. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5>
- [352] Siregar, Z. A., Anggoro, S., Irianto, H. E., & Purnaweni, H. (2022). A systematic literature review: UTAUT model research for green farmer adoption. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 12(6), 2485-2490.
- [353] Solfins. (2023). *Solfins 3D kompanija. Elixir Group Šabac*. Доступно на <https://solfins.com/blog/reference-1/elixir-group-sabac-815> (Датум приступа: 15.1.2023.)
- [354] Stączek, P., Pizoń, J., Danilczuk, W., & Gola, A. (2021). A digital twin approach for the improvement of an autonomous mobile robots (AMR's) operating environment—A case study. *Sensors*, 21(23), 7830. <https://doi.org/10.3390/s21237830>
- [355] Стефановић, М., Ђорђевић, И., Милосављевић, Н. и Ђонових, А. (2021). Анализа стања иновација и процеса дигиталне трансформације у Републици Србији. *NALED*, Београд.
- [356] Stojanović, K. (2023). Self-efficacy in the application of digitalization in SMEs in Serbia. *Zbornik radova International May Conference on Strategic Management – IMCSM23, XIX(3)*, 93-103.
- [357] Strandhagen, J. O., Vallandingham, L. R., Fragapane, G., Strandhagen, J. W., Stangeland, A. B. H., & Sharma, N. (2017). Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. *Advances in Manufacturing*, 5(4), 359-369. <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0198-1>
- [358] Strandhagen, J. W., Alfnes, E., Strandhagen, J. O., & Vallandingham, L. R. (2017a). The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: A multiple case study. *Advances in Manufacturing*, 5(4), 344-358. <https://doi.org/10.1007/s40436-017-0200-y>

- [359] Striteska, M., & Spickova, M. (2012). Review and comparison of performance measurement systems. *Journal of Organizational Management Studies*, 2012, 1. <https://doi.org/10.5171/2012.114900>
- [360] Sujová, E., Čierna, H., & Žabińska, I. (2019). Application of digitization procedures of production in practice. *Management Systems in Production Engineering*, 27(1), 23-28. <https://doi.org/10.1515/mspe-2019-0004>
- [361] Susanto, S., Utomo, P., & Sudiyono, K. A. (2021, April). Analysis of Factors that Affecting the Acceptance of the Use of Digital Form Mobile Application At Pt. Abc Using Tam Dan Utaut Theoretical Model. In *ICEBE 2020: Proceedings of the First International Conference of Economics, Business & Entrepreneurship, ICEBE 2020, 1st October 2020, Tangerang, Indonesia* (p. 476). European Alliance for Innovation. <https://doi.org/10.4108/eai.1-10-2020.2305006>
- [362] Susilawati, A., Tan, J., Bell, D., & Sarwar, M. (2013). Develop a Framework of Performance Measurement and Improvement System for Lean Manufacturing Activity. *International Journal of Lean Thinking*, 4(1), 51-64.
- [363] Swift, K. G., & Booker, J. D. (2013). *Manufacturing process selection handbook*. Butterworth-Heinemann.
- [364] Syberfeldt, A., Holm, M., Danielsson, O., Wang, L., & Brewster, R. L. (2016). Support systems on the industrial shop-floors of the future—Operators' perspective on augmented reality. *6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS). Procedia CIRP*, 44, 108–113. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.017>
- [365] Taber, K. S. (2018). The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in science education*, 48(6), 1273-1296. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9602-2>
- [366] Tao, J., Qiu, D., Yang, F., & Duan, Z. (2020). A bibliometric analysis of human reliability research. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121041. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121041>
- [367] Tay, S. I., Alipal, J., & Lee, T. C. (2021). Industry 4.0: Current practice and challenges in Malaysian manufacturing firms. *Technology in Society*, 67, 101749. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101749>
- [368] Taylor, S., & Todd, P. (1995). Assessing IT Usage: The Role of Prior Experience. *MIS Quarterly*, 19(4), 561-570. <https://doi.org/10.2307/249633>

- [369] Teng, Z., Cai, Y., Gao, Y., Zhang, X., & Li, X. (2022). Factors affecting learners' adoption of an educational metaverse platform: An empirical study based on an extended UTAUT model. *Mobile Information Systems*, 2022(1), 5479215. <https://doi.org/10.1155/2022/5479215>
- [370] Thangaraj, J., & Narayanan, R. (2018). *Industry 1.0 to 4.0: The evolution of smart factories*. APICS, Chicago, IL, USA.
- [371] The World Bank. (n.d.). World Bank Country and Lending Groups. Доступно на: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups> (Датум приступа: 22.7.2025.)
- [372] Thompson, R. L., Higgins, C. A., & Howell, J. M. (1991). Personal computing: Toward a conceptual model of utilization. *MIS quarterly*, 15(1), 125-143. <https://doi.org/10.2307/249443>
- [373] Thun, S., Kamsvåg, P. F., Kløve, B., Seim, E. A., & Torvatn, H. Y. (2019). Industry 4.0: Whose revolution? The digitalization of manufacturing work processes. *Nordic Journal of Working Life Studies*. <https://doi.org/10.18291/njwls.v9i4.117777>
- [374] Thürer, M., Tomašević, I., Stevenson, M., Blome, C., Melnyk, S. A., Chan, H. K., & Huang, G. Q. (2019). A systematic review of China's Belt and Road Initiative: Implications for global supply chain management. *International Journal of Production Research*, 58(8), 2436–2453. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1605225>
- [375] Тодоровић, Ј. М. (1993). *Савремена производња - „Мрљеш“*. Београд.
- [376] Tomašević, I., & Slović, D. (2022). Lenses of lean in non-repetitive manufacturing: Systematic literature review. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 490–508. https://doi.org/10.1007/978-3-031-18645-5_31
- [377] Topczak, M., & Śliwa, M. (2021). Assessment of the possibility of using Bayesian nets and Petri nets in the process of selecting additive manufacturing technology in a manufacturing company. *Applied Computer Science*, 17(1), 5-16. <https://doi.org/10.23743/acs-2021-01>
- [378] Tosuntaş, Ş. B., Karadağ, E., & Orhan, S. (2015). The factors affecting acceptance and use of interactive whiteboard within the scope of FATİH project: A structural equation model based on the Unified Theory of acceptance and use of technology. *Computers & Education*, 81, 169-178. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.10.009>

- [379] ToyoTires. (2022). *Toyo Tire-ova prva stranica proizvodnje guma ikada u Evropi*. Toyo Tires. Доступно на: https://www.toyotires.rs/sr_RS/news/toyo-tires-first-ever-tire-production-site-in-europe (Датум приступа: 10.4.2022.)
- [380] Trajkovic, S., & Mihajlovic, L. S. (2021). Analysis of the export potential of small and medium enterprises in the Republic of Serbia. *International Journal of Business and Economics Research*, 10(5), 171-177. <https://doi.org/10.11648/j.ijber.20211005.12>
- [381] Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- [382] Trattner, A. L., Hvam, L., Herbert-Hansen, Z. N. L., & Raben, C. (2017). Product variety, product complexity and manufacturing operational performance: A systematic literature review. In the *24th International Annual EurOMA Conference* (pp. 01-09).
- [383] Trimmer, K. (2014). Decision-making by school principals and education researchers: The dilemma of reverse coding in structural equation modeling and its resolution in a study of risk-taking in decision-making for school principals. *Athens journal of education*, 1(1), 69-82. <https://doi.org/10.30958/aje.1-1-6>
- [384] Ul-Haque, M., Azhar, S. M., & Ur-Rehman, M. (2014). Incorporating emotions as antecedents and mediators in theory of reasoned action (TRA) model. *Business Review*, 9(2), 40-47. <https://doi.org/10.54784/1990-6587.1270>
- [385] Ursavaş, Ö.F. (2022). Motivational Model (MM). In *Conducting technology acceptance research in education: theory, models, implementation, and analysis* (pp. 93-110). Springer Texts in Education. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10846-4_5
- [386] Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: Managing the digital transformation*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5>
- [387] Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

- [388] Васиљевић, Д., Лечић-Цветковић, Д., Ђорђевић Милутиновић, Л., Даниловић, М., Цветић, Б. и Ракићевић, З. (2024). *Основе операционог менаџмента*. Београд: Факултет организационих наука.
- [389] Veile, J. W., Kiel, D., Müller, J. M., & Voigt, K. I. (2020). Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 977-997. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0270>
- [390] Venkatesh, V. (2022). Adoption and use of AI tools: A research agenda grounded in UTAUT. *Annals of Operations Research*, 308(1), 641-652. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03918-9>
- [391] Venkatesh, V., & Davis, F. D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management science*, 46(2), 186-204. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.46.2.186.11926>
- [392] Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- [393] Venkatesh, V., Thong, J. Y., & Xu, X. (2012). Consumer acceptance and use of information technology: extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS quarterly*, 157-178. <https://doi.org/10.2307/41410412>
- [394] Verhaelen, B., Mayer, F., Peukert, S., & Lanza, G. (2021). A comprehensive KPI network for the performance measurement and management in global production networks. *Production Engineering*, 15(5), 635-650. <https://doi.org/10.1007/s11740-021-01041-7>
- [395] Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of business research*, 122, 889-901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
- [396] Veselinović, P., & Stanišić, N. (2021). Development and perspectives of digital economy in the Republic of Serbia. *Zbornik Radova Ekonomskog Fakulteta u Istočnom Sarajevu*, 21(1). <https://doi.org/10.7251/zrefis2122061v>

- [397] Vinitha, K., Prabhu, R. A., Bhaskar, R., & Hariharan, R. (2020). Review on industrial mathematics and materials at Industry 1.0 to Industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*, 33, 3956-3960. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.331>
- [398] Von Schirnding, Y. (2002). *Health in sustainable development planning: the role of indicators*. In *Health in sustainable development planning: the role of indicators*. World Health Organization, Geneva.
- [399] Vošner, H. B., Kokol, P., Bobek, S., Železnik, D., & Završnik, J. (2016). A bibliometric retrospective of the journal *Computers in Human Behavior* (1991–2015). *Computers in Human Behavior*, 65, 46-58. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.08.026>
- [400] Вуковић, М. и Штрбац, Н. (2019). *Методологија научних истраживања*. Бор: Технички факултет у Бору.
- [401] Vuković, M., Jorg, O., Hosseinifard, M., & Fantoni, G. (2022). Low-cost digitalization solution through scalable IIoT prototypes. *Applied Sciences*, 12(17), 8571. <https://doi.org/10.3390/app12178571>
- [402] Wagner, C. S., Cai, X., Zhang, Y., & Fry, C. V. (2022). One-year in: COVID-19 research at the international level in CORD-19 data. *PLOS ONE*, 17(5), e0261624. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261624>
- [403] Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 impacts on lean production systems. *Procedia CIRP*, 63, 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041>
- [404] Walters, D. (2005). Performance planning and control in virtual business structures. *Production planning & control*, 16(2), 226-239. <https://doi.org/10.1080/09537280512331333110>
- [405] Wamba, S. F., Akter, S., Edwards, A., Chopin, G., & Gnanzou, D. (2015). How ‘big data’ can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study. *International Journal of Production Economics*, 165, 234–246. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.12.031>
- [406] Wan, J., Li, X., Dai, H. N., Kusiak, A., Martinez-Garcia, M., & Li, D. (2020). Artificial-intelligence-driven customized manufacturing factory: key technologies, applications, and challenges. *Proceedings of the IEEE*, 109(4), 377-398. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.303480>

- [407] Wan, J., Yang, J., Wang, Z., & Hua, Q. (2018). Artificial intelligence for cloud-assisted smart factory. *IEEE Access*, 6, 55419-55430. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2871724>
- [408] Wang, P., Gao, R. X., & Fan, Z. (2015). Cloud computing for cloud manufacturing: benefits and limitations. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 137(4), 040901. <https://doi.org/10.1115/1.4030209>
- [409] Watanabe, E. H., da Silva, R. M., Blos, M. F., Junqueira, F., Santos Filho, D. J., & Miyagi, P. E. (2018). Framework to evaluate the performance and sustainability of a disperse productive system. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(6), 277. <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1032-9>
- [410] Williams, M. D., Dwivedi, Y. K., Lal, B., & Schwarz, A. (2009). Contemporary trends and issues in IT adoption and diffusion research. *Journal of Information Technology*, 24(1), 1-10. <https://doi.org/10.1057/jit.2008.30>
- [411] Williams, M. D., Rana, N. P., & Dwivedi, Y. K. (2015). The unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT): A literature review. *Journal of Enterprise Information Management*, 28(3), 443-488. <https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2014-0088>
- [412] White, G. P. (1996). A survey and taxonomy of strategy-related performance measures for manufacturing. *International Journal of Operations & Production Management*, 16(3), 42-61. <https://doi.org/10.1108/01443579610110486>
- [413] Wong, K. V., & Hernandez, A. (2012). A review of additive manufacturing. *International scholarly research notices*, 2012(1), 208760. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>
- [414] World Bank Group (2022). *Technology Adoption by Firms in Developing Countries*. Доступно на: <https://www.worldbank.org/en/topic/competitiveness/publication/technology-adoption-by-firms-in-developing-countries> (Датум приступа: 28.8.2025.)
- [415] Woźniak, J., Budzik, G., Przeszlowski, Ł., & Chudy-Laskowska, K. (2021). Directions of the development of the 3D printing industry as exemplified by the Polish market. *Management and Production Engineering Review*, 12(2), 98-106. <https://doi.org/10.24425/mper.2021.137682>

- [416] Wrobel-Lachowska, M., Cui, Z. (2018). Challenges for logistics education in Industry 4.0. In Nazir, S., Teperi, A. M., & Polak-Sopińska, A. (Eds.), *Advances in Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences* (pp. 329-336). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93882-0_32
- [417] Wu, M. J., Zhao, K., & Fils-Aime, F. (2022). Response rates of online surveys in published research: A meta-analysis. *Computers in human behavior reports*, 7, 100206. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2022.100206>
- [418] Xiao, Y., & Watson, M. (2019). Guidance on conducting a systematic literature review. *Journal of Planning Education and Research*, 39(1), 93-112. <https://doi.org/10.1177/0739456X17723971>
- [419] Xiao-Ping, S., Zhang, Y., Tang, Y., Qin, Y., Liu, N., & Yi, Z. (2021). A study on the impact of digital tobacco logistics on tobacco supply chain performance: taking the tobacco industry in Guangxi as an example. *Industrial Management and Data Systems*, 122(6), 1416–1452. <https://doi.org/10.1108/imds-05-2021-0270>
- [420] Xu, T., & Suzuki, H. (2025). A Study on Japanese and Chinese Manufacturing Employees' Willingness to Accept IoT Systems as a Service Based on UTAUT and ISO25010 Models. *Review of Integrative Business and Economics Research*, 14(1), 19-34.
- [421] Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- [422] Xu, X. (2012). From cloud computing to cloud manufacturing. *Robotics and computer-integrated manufacturing*, 28(1), 75-86. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2011.07.002>
- [423] Yao, X., Zhou, J., Zhang, J., & Boër, C. R. (2017). From intelligent manufacturing to smart manufacturing for industry 4.0 driven by next generation artificial intelligence and further on. In *2017 5th International Conference on Enterprise Systems (ES)*, 311-318. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ES.2017.58>
- [424] Yavari, F., & Pilevari, N. (2020). Industry revolutions development from Industry 1.0 to Industry 5.0 in manufacturing. *Journal of Industrial Strategic Management*, 5(2), 44-63.

- [425] Yildiz, E., Møller, C., & Bilberg, A. (2021). Demonstration and evaluation of a digital twin-based virtual factory. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114(1), 185-203. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06825-w>
- [426] Yin, Y., Stecke, K. E., & Li, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 848-861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>
- [427] Yoro, K. O., & Daramola, M. O. (2020). CO2 emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. *Advances in carbon capture: Methods, Technologies and Applications*, 3-28. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819657-1.00001-3>
- [428] Yu, X., Yu, Z., Liu, Y., & Shi, H. (2017). CI-Rank: Collective importance ranking for keyword search in databases. *Information Sciences*, 384, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.12.022>
- [429] Zahid, M. J. A., Ashraf, M. M., Malik, B. T., & Hoque, M. R. (2013, June). Information communication technology (ICT) for disabled persons in Bangladesh: Preliminary study of impact/outcome. In *International Working Conference on Transfer and Diffusion of IT* (pp. 652-657). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38862-0_48
- [430] Zarreh, A., Wan, H., Lee, Y., Saygin, C., & Al Janahi, R. (2019). Cybersecurity concerns for total productive maintenance in smart manufacturing systems. *Procedia Manufacturing*, 38, 532-539. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.067>
- [431] Завод за статистику Републике Србије (2023). *Употреба информационо-комуникационих технологија у Републици Србији, 2023*. Доступно на: <https://publikacije.stat.gov.rs/G2023/Pdf/G202316018.pdf> (Датум приступа: 27.7.2025.)
- [432] Завод за статистику Републике Србије (2024). *Статистички годишњак*. Доступно на: <https://publikacije.stat.gov.rs/G2024/pdf/G20242057.pdf> (Датум приступа: 27.7.2025.)
- [433] Zhang, Q., Khan, S., Khan, S. U., & Khan, I. U. (2023). Understanding blockchain technology adoption in operation and supply chain management of Pakistan: Extending UTAUT model with technology readiness, technology affinity and trust. *SAGE Open*, 13(4). <https://doi.org/10.1177/21582440231199320>

- [434] Zhang, B., & Peng, B. (2025). Artificial Intelligence and the Development of “Specialized, Refined, Unique, and Innovative” Small-and Medium-Sized Enterprises. *Managerial and Decision Economics*, 46(2), 843-861. <https://doi.org/10.1002/mde.4407>
- [435] Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M., & Zanardini, M. (2020). The impacts of Industry 4.0: a descriptive survey in the Italian manufacturing sector. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 1085-1115. <https://doi.org/10.1108/jmtm-08-2018-0269>
- [436] Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2020). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922–1954. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.182408>
- [437] Zigart, T., & Schlund, S. (2020). Evaluation of augmented reality technologies in manufacturing—A literature review. In *Advances in Human Factors and Systems Interaction: Proceedings of the AHFE 2020 Virtual Conference on Human Factors and Systems Interaction, July 16-20, 2020, USA* (pp. 75-82). Springer International Publishing.

ПРИЛОЗИ ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

У овом делу докторске дисертације представљени су прилози, приказани по редоследу појављивања у докторској дисертацији.

Прилог 1: Истраживачки упитник - анкета спроведена у производним предузећима у Републици Србији;

Прилог 2: Биографија и библиографија аутора докторске дисертације;

Прилог 3а: Изјава о ауторству;

Прилог 3б: Изјава истовестности штампане и електронске верзије докторског рада;

Прилог 3в: Изјава о коришћењу.

ПРИЛОГ 1

Прилог 1: Истраживачки упитник - анкета спроведена у производним предузећима у Републици Србији

У Прилогу 1 приказан је истраживачки упитник - анкета које је спроведена у производним предузећима у Републици Србији и представљена је у Табели 41.

Табела 41: Истраживачки упитник

УПИТНИК
ИСТРАЖИВАЊЕ О ПРИМЕНИ ТЕХНОЛОГИЈА ИНДУСТРИЈЕ 4.0 У ПРОИЗВОДНИМ ПРЕДУЗЕЋИМА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ
Поштовани,
Овај упитник представља инструмент истраживања у оквиру докторске дисертације кандидаткиње Теодоре Рајковић.
Упитник се састоји од питања са понуђеним одговорима или пољима за попуњавање. Просечно потребно време за попуњавање упитника је 15 мин.
Упитник је у потпуности анониман. Резултати упитника ће се користити искључиво у сврхе доказивања хипотеза које су дефинисане у оквиру докторске дисертације.
Истраживачки узорак представљају запослени, менаџери и планери производње у производним предузећима у Републици Србији. Замолићу Вас да прочитате и попуните овај упитник и тиме значајно допринесете проучавању дефинисане теме докторске дисертације.
Захваљујем Вам се на сарадњи!
Срдачно,
Теодора Рајковић, Асистент на Катедри за управљање производњом и услугама, Универзитет у Београду, Факултет организационих наука

ПРВИ ДЕО УПИТНИКА ОСНОВНЕ СОЦИО-ДЕМОГРАФСKE И СИТУАЦИОНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ О ИСПИТАНИКУ		
Р.б.	Питање	Понуђени одговор
1	Пол:	• Мушки • Женски
2	Колико имате година?	
3	Колико година радите у производном сектору?	
4	Унесите укупан број година Вашег радног стажа у предузећу у ком сте тренутно запослени:	
5	Означите Ваш највиши завршени степен образовања:	• Основна школа • Средња школа или гимназија • Виша школа или основне трогодишње академске/струковне студије • Основне четворогодишње академске студије • Магистарске/мастер или специјалистичке академске студије • Докторске академске студије • Постдокторске академске студије
6	Означите одељење у коме сте запослени (допишите под „Остало“ уколико Ваше одељење није наведено):	• Производња • Продаја • Маркетинг • Набавка • Логистика • Финансије и рачуноводство • Развој производа и услуга • Остало: _____
ДРУГИ ДЕО УПИТНИКА ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРЕДУЗЕЋА		
Р.б.	Питање	Понуђени одговор
1	Напишите град у којем се налази предузеће у коме сте запослени:	
2	Означите опсег броја година колико предузеће у коме сте запослени послује (у Републици Србији):	• 0–5 • 6–10 • 11–15 • 16–20 • 21 и више

3	Означите опсег броја запослених у предузећу у коме сте запослени (у Републици Србији):	• 0–10 (микро предузеће) • 11–50 (мало предузеће) • 51–250 (средње предузеће) • 250 и више (велико предузеће)
4	Обележите тип власништва предузећа у коме сте запослени (у Републици Србији):	• Државно власништво • Приватно власништво • Комбиновано (државно и приватно власништво)
5	Означите делатност прерађивачке индустрије којој предузеће у ком сте запослени припада (можете означити више одговора. уколико није наведена делатност Вашег предузећа, можете је дописати код „Остало“):	05 Експлоатација угља 06 Експлоатација сирове нафте и природног гаса 07 Експлоатација руда метала 08 Остало рударство 09 Услужне делатности у рударству и геолошким истраживањима 10 Производња прехранбених производа 11 Производња пића 12 Производња дуванских производа 13 Производња текстила 14 Производња одевних предмета 15 Производња коже и предмета од коже 16 Прерада дрвета и производи од дрвета, плуте, сламе и прућа, осим намештаја 17 Производња папира и производа од папира 18 Штампане и умножавање аудио и видео записа 19 Производња кокса и деривата нафте 20 Производња хемикалија и хемијских производа 21 Производња основних фармацеутских производа и препарата 22 Производња производа од гуме и пластике 23 Производња производа од осталих неметалних минерала 24 Производња основних метала 25 Производња металних производа, осим машина и уређаја 26 Производња рачунара, електронских и оптичких производа 27 Производња електричне опреме 28 Производња непоменутих машина и непоменутих опреме 29 Производња моторних возила, приколица и полуприколица 30 Производња осталих саобраћајних средстава 31 Производња намештаја 32 Остале прерађивачке делатности 33 Поправка и монтажа машина и опреме 351 Производња, пренос и дистрибуција електричне енергије 352 Производња гаса и дистрибуција гасовитих горива гасоводима 353 Снабдевање паром и климатизација Остало _____

6	Означите тржишта на којем предузеће у коме сте запослени пласира производе: (можете означити више одговора)	• Локално тржиште • Регионално тржиште • Национално тржиште • Међународно (светско) тржиште
7	Означите број различитих производа из асортимана предузећа у ком сте запослени:	• 1-10 • 11-20 • 21-30 • 31-40 • 41-50 • 51 и више
8	Означите доминантан тип производње у предузећу у коме сте запослени:	• Појединачна производња • Серијска производња • Масовна производња

ТРЕЋИ ДЕО УПИТНИКА – ЗАСТУПЉЕНОСТ И ТРЕНУТНО МИШЉЕЊЕ О ПРИМЕНИ ТЕХНОЛОГИЈА ЗА ДИГИТАЛИЗАЦИЈУ И АУТОМАТИЗАЦИЈУ ПОСЛОВАЊА ПРОИЗВОДНИХ ПРЕДУЗЕЋА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ

Р.б.	Питање					
1	На скали од 1 до 5 означите колико сте упознати са технологијама које се примењују за дигитализацију пословања и аутоматизацију процеса у производним предузећима, где је: 1 – Нисам упознат/а са технологијом; 2 – Упознат/а сам са технологијом, али је не користим; 3 – Упознат/а сам са технологијом, планирам да је применим у управљању производњом; 4 – Упознат/а сам са технологијом, повремено је примењујем у управљању производњом; 5 – Упознат/а сам са технологијом, често је примењујем у управљању производњом.					
Технологије		Оцене				
1	Интернет „интелигентних“ уређаја (енгл. <i>IoT - Internet of Things</i>)	1	2	3	4	5
2	Сајбер безбедност (енгл. <i>Cyber Security</i>)	1	2	3	4	5
3	Сајбер-физички системи (енгл. <i>Cyber-Physical Systems</i>)	1	2	3	4	5
4	Рачунарство у „облаку” (енгл. <i>Cloud Computing</i>) (удаљени приступ подацима, складиштење и обрада података)	1	2	3	4	5
5	Велики подаци (енгл. <i>Big Data</i>) и аналитика података (енгл. <i>Data Analysis</i>)	1	2	3	4	5
6	Комуникација између машина (енгл. <i>Machine-to-Machine</i>)	1	2	3	4	5
7	Адитивна производња (енгл. <i>Additive Manufacturing</i>) (3Д штампање)	1	2	3	4	5
8	Роботи (енгл. <i>Robots</i>)	1	2	3	4	5
9	Виртуелна стварност (енгл. <i>Virtual Reality</i>)	1	2	3	4	5
10	Проширена стварност (енгл. <i>Augmented Reality</i>)	1	2	3	4	5
11	Пословна интелигенција (енгл. <i>Business Intelligence</i>)	1	2	3	4	5
12	Машинско учење (енгл. <i>Machine Learning</i>)	1	2	3	4	5
13	Вештачка интелигенција (енгл. <i>Artificial Intelligence</i>)	1	2	3	4	5
14	Дигитални близанци (енгл. <i>Digital Twins</i>)	1	2	3	4	5

2	На скали од 1 до 5 означите колико сте сагласни са садржајем наведених реченица, а које се односе на ставове у вези дигитализације пословања и аутоматизације производних процеса, где је: 1 – Уопште се не слажем; 2 – Претежно се не слажем са наведеним; 3 – Неодлучан/на сам; 4 – Претежно се слажем са наведеним; 5 – У потпуности се слажем.									
Ставови		Оцене								
1	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса олакшаће се и унапредити процес управљања производњом	1	2	3	4	5				
2	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса побољшаће се производне перформансе	1	2	3	4	5				
3	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса постићи ће се већа ефикасност производње	1	2	3	4	5				
4	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса смањиће се грешке у производњи	1	2	3	4	5				
5	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса смањиће се трошкови у производњи	1	2	3	4	5				
6	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса повећаће се приходи	1	2	3	4	5				
7	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса предузећа постају конкурентнија на тржишту	1	2	3	4	5				
8	Дигитализацијом пословања и аутоматизацијом производних процеса процес управљања залихама постаће ефикаснији	1	2	3	4	5				
3	На скали од 1 до 5 означите колико сте сагласни са наведеним реченицама, а које се односе на предузеће у ком сте запослени, где је: 1 – Уопште се не слажем; 2 – Претежно се не слажем са наведеним; 3 – Неодлучан/на сам; 4 – Претежно се слажем са наведеним; 5 – У потпуности се слажем.									
Ставови		Оцене								
1	Предузеће тежи иновативности	1	2	3	4	5				
2	Предузеће има довољно финансијских средстава да у потпуности дигитализује пословање и аутоматизује процесе	1	2	3	4	5				
3	Руководство и запослени предузећа су упознати са концептом дигитализације пословања и аутоматизације производних процеса	1	2	3	4	5				
4	Руководство предузећа подржава дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса	1	2	3	4	5				
5	Руководство предузећа тренутно размишља о дигитализацији пословања и аутоматизацији производних процеса	1	2	3	4	5				
6	Досадашњи начин рада је добар и да нема потребе да се унапређује, односно дигитализује и аутоматизује	1	2	3	4	5				
7	Сви производни процеси су стандардизовани	1	2	3	4	5				
8	Може се извршити реинжењеринг свих производних процеса у предузећу, да постану аутоматизовани, као и да се примењују савремене дигиталне технологије	1	2	3	4	5				

9	Производни ток је аутоматизован и могуће га је у потпуности пратити путем дигиталних технологија	1	2	3	4	5
10	Грешке настале у процесу производње се електронским путем пријављују и преносе до одговорне особе	1	2	3	4	5
11	У производном погону комуникација између запослених се врши искључиво електронским путем (путем рачунара, ERP софтвера, осталих дигиталних технологија)	1	2	3	4	5
12	У току је процес имплементације неких од технологија за дигитализацију и аутоматизацију у производњи	1	2	3	4	5
13	Активности управљања складиштима су у потпуности аутоматизоване	1	2	3	4	5
14	Комуникација са добављачима је у потпуности дигитализована и аутоматизована	1	2	3	4	5
15	Комуникација са купцима је у потпуности дигитализована и аутоматизована	1	2	3	4	5
16	Запослени желе да мењају досадашњи начин рада	1	2	3	4	5
17	Запослени су довољно компетентни за употребу савремених технологија	1	2	3	4	5
18	Запослени су у потпуности обучени за рад са савременим технологијама	1	2	3	4	5
19	У току је процес обучавања запослених за примену неких од технологија за дигитализацију и аутоматизацију производних процеса	1	2	3	4	5
4	На скали од 1 до 5 означите ниво примене технологија за дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса у предузећу у ком сте запослени, где је: 1 – Технологија се уопште не примењује; 2 – Технологија се примењује јако ретко; 3 – Технологија се повремено примењује; 4 – Технологија се често примењује; 5 – Технологија се у потпуности примењује.					
Технологије		Оцене				
1	Интернет „интелигентних“ уређаја (енгл. IoT - Internet of Things)	1	2	3	4	5
2	Сајбер безбедност (енгл. Cyber Security)	1	2	3	4	5
3	Сајбер-физички системи (енгл. Cyber-Physical Systems)	1	2	3	4	5
4	Рачунарство у „облаку” (енгл. Cloud Computing) (удаљени приступ подацима, складиштење и обрада података)	1	2	3	4	5
5	Велики подаци (енгл. Big Data) и аналитика података (енгл. Data Analysis)	1	2	3	4	5
6	Комуникација између машина (енгл. Machine-to-Machine)	1	2	3	4	5
7	Адитивна производња (енгл. Additive Manufacturing) (3Д штампање)	1	2	3	4	5
8	Роботи (енгл. Robots)	1	2	3	4	5
9	Виртуелна стварност (енгл. Virtual Reality)	1	2	3	4	5
10	Проширена стварност (енгл. Augmented Reality)	1	2	3	4	5
11	Пословна интелигенција (енгл. Business Intelligence)	1	2	3	4	5
12	Машинско учење (енгл. Machine Learning)	1	2	3	4	5
13	Вештачка интелигенција (енгл. Artificial Intelligence)	1	2	3	4	5
14	Дигитални близанци (енгл. Digital Twins)	1	2	3	4	5

5	Оцените на скали од 1 до 5 значајност имплементације наведених технологија у предузећу у коме сте запослени, за подизање нивоа дигитализације пословања и аутоматизације производних процеса у циљу унапређења управљања производњом, где је: 1 – Имплементација технологије је од најмање важности; 2 – Имплементација технологије је од малог значаја; 3 – Имплементација технологије је од умереног значаја; 4 – Имплементација технологије је од великог значаја; 5 – Имплементација технологије је од највећег значаја. Уколико већ користите ту технологију, означите Већ се примењује, а у реду Остало допишите уколико постоје технологије које користите, а да нису наведене у табели.						
Технологије		Оцене					
1	Интернет „интелигентних“ уређаја (енгл. <i>IoT - Internet of Things</i>)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
2	Сајбер безбедност (енгл. <i>Cyber Security</i>)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
3	Сајбер-физички системи (енгл. <i>Cyber-Physical Systems</i>)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
4	Рачунарство у „облаку” (енгл. <i>Cloud Computing</i>) (удаљени приступ подацима, складиштење и обрада података)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
5	Велики подаци (енгл. <i>Big Data</i>) и аналитика података (енгл. <i>Data Analysis</i>)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
6	Комуникација између машина (енгл. <i>Machine-to-Machine</i>)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
7	Адитивна производња (енгл. <i>Additive Manufacturing</i>) (3Д штампање)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
8	Роботи (енгл. <i>Robots</i>)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
9	Виртуелна стварност (енгл. <i>Virtual Reality</i>)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
10	Проширена стварност (енгл. <i>Augmented Reality</i>)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
11	Пословна интелигенција (енгл. <i>Business Intelligence</i>)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
12	Машинско учење (енгл. <i>Machine Learning</i>)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
13	Вештачка интелигенција (енгл. <i>Artificial Intelligence</i>)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
14	Дигитални близанци (енгл. <i>Digital Twins</i>)	Већ се примењује	1	2	3	4	5
15	Остало:						
6	На скали од 1 до 5 означите интензитет утицаја наведених критеријума на дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса у производном предузећу у Републици Србији, где је: 1 – Немају никакав утицај; 2 – Имају јако мали утицај; 3 – Имају умерен утицај; 4 – Имају велики утицај; 5 – Имају највећи утицај.						

Критеријуми за дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса у производним предузећима у Републици Србији		Оцене				
1	Тржишни услови	1	2	3	4	5
2	Државни подстицај и подршка	1	2	3	4	5
3	Конкурвенција	1	2	3	4	5
4	Утицај купаца	1	2	3	4	5
5	Утицај добављача	1	2	3	4	5
6	Промене визије предузећа	1	2	3	4	5
7	Промене у организационој структури предузећа	1	2	3	4	5
8	Утицај и тежње запослених у предузећу ка променама	1	2	3	4	5
9	Иновације и измене у производима предузећа	1	2	3	4	5
7	На скали од 1 до 5 оцените интензитет утицаја препрека за увођење дигитализације пословања и аутоматизације производних процеса у производним предузећима у Републици Србији, где је: 1 – Немају никакав утицај; 2 – Имају јако мали утицај; 3 – Имају умерен утицај; 4 – Имају велики утицај; 5 – Имају највећи утицај.					
Препреке за увођење дигитализације и аутоматизације производних процеса у производним предузећима у Републици Србији		Оцене				
1	Недостатак подршке и подстицаја од стране државе	1	2	3	4	5
2	Високи трошкови набавке, имплементације и одржавања технологија	1	2	3	4	5
3	Сложеност примене технологија	1	2	3	4	5
4	Проблеми у вези са безбедношћу и заштитом приватности података	1	2	3	4	5
5	Недовољна информисаност о технологијама и могућностима њихове примене	1	2	3	4	5
6	Идеја за примену неких од технологија за дигитализацију пословања и аутоматизацију производних процеса није подржана од стране органа управљања предузећем	1	2	3	4	5
7	Недостатак финансијских средстава предузећа	1	2	3	4	5
8	Недостатак стандардизације процеса у предузећу	1	2	3	4	5
9	Проблеми са константном снабдевношћу електричном енергијом	1	2	3	4	5
10	Проблеми са приступом Интернету	1	2	3	4	5
11	Високи трошкови обуке запослених	1	2	3	4	5
12	Отпор запослених ка променама	1	2	3	4	5

**ЧЕТВРТИ ДЕО УПИТНИКА – ПРИХВАТАЊЕ И ПОТЕНЦИЈАЛ ПРИМЕНЕ
ТЕХНОЛОГИЈА ЗА ДИГИТАЛИЗАЦИЈУ И АУТОМАТИЗАЦИЈУ ПОСЛОВАЊА
ПРОИЗВОДНИХ ПРЕДУЗЕЋА У РЕПУБЛИЦИ СРБИЈИ**

У овом, последњем делу упитника, питања се односе на Ваш став о тренутној и будућој примени савремених технологија за дигитализацију и аутоматизацију, које су одабране као седам најчешће примењиваних технологија у производним предузећима. Одговори на ова питања су кључни за резултате који ће бити представљени у докторској дисертацији.

На скали од 1 до 5 означите Ваш одговор, где је:

- 1- Уопште се не слажем;
- 2- Претежно се не слажем са наведеним;
- 3- Неодлучан/на сам;
- 4- Претежно се слажем са наведеним;
- 5- У потпуности се слажем.

Р.б.	Питање						
1	Интернет „интелигентних“ уређаја (енгл. <i>Internet of Things</i>) користи међусобно повезане уређаје, рачунаре, објекте, дигиталне и механичке машине или појединце путем Интернета, омогућавајући бржи, лакши и прецизнији пренос и обраду података. Овом технологијом се прикупљају велике количине података, који се обрађују и користе за праћење оствареног учинка производње, операција, запослених и друго. Примена ове технологије омогућава међусобну комуникацију између људи и уређаја, удаљени приступ подацима, обављање задатака без људске интервенције, побољшава повезивање и размену података, као и свеукупне производне перформансе, повећава продуктивност рада и ефикасност комуникације. Технологије које се користе у оквиру <i>IoT</i> јесу: сензори, <i>RFID</i> , дронови, <i>Cloud Computing</i> (рачунарство у „облаку“), <i>CNC</i> машине, роботи, вештачка интелигенција, итд.						
Ставови		Оцене					
1	Сматрам да би та технологија била корисна у мом свакодневном раду	1	2	3	4	5	
2	Употреба те технологије би ми омогућила да брже извршим пословне задатке	1	2	3	4	5	
3	Употреба те технологије би ми омогућила да лакше извршим пословне задатке	1	2	3	4	5	
4	Било би ми лако да савладам коришћење те технологије	1	2	3	4	5	
5	Било би ми лако да користим ту технологију	1	2	3	4	5	
6	Верујем да бих лако научио/ла да користим ту технологију	1	2	3	4	5	
7	Користио/ла бих ову технологију ако би ми колеге препоручили	1	2	3	4	5	
8	Користио/ла бих ову технологију ако би ми пријатељи препоручили	1	2	3	4	5	
9	Користио/ла бих ову технологију ако бих о томе видео/ла или слушао/ла на друштвеним мрежама	1	2	3	4	5	
10	Имам потребне ресурсе за коришћење те технологије	1	2	3	4	5	
11	Имам потребно знање за коришћење те технологије	1	2	3	4	5	
12	Имам намеру да користим ту технологију у наредних 12 месеци	1	2	3	4	5	
13	Сматрам да ћу користити ту технологију у наредних 12 месеци	1	2	3	4	5	
14	Планирам да користим ту технологију у наредних 12 месеци	1	2	3	4	5	

2	Вештачка интелигенција (енгл. <i>Artificial Intelligence</i>) представља информатичку дисциплину која се бави развојем система за обраду података и функција повезаних са људском интелигенцијом, чиме се редефинишу производни процеси и пословни модели у индустрији. Ова технологија омогућава предузећима да доносе одлуке на основу предиктивне аналитике засноване на подацима и користи се у оквиру машинског учења и роботике за решавање проблема унутар предузећа, наглашавајући важност инфраструктуре података, алгоритама, доношења одлука и постизања конкретних циљева. Ова технологија врши предвиђање промена на тржишту, квара машина, смањује застоје у производњи, доводи до бржих одлука, смањења трошкова у производњи и побољшаних услуга, што утиче на свеукупно побољшање квалитета производње.					
Ставови		Оцене				
1	Сматрам да би та технологија била корисна у мом свакодневном раду	1	2	3	4	5
2	Употреба те технологије би ми омогућила да брже извршим пословне задатке	1	2	3	4	5
3	Употреба те технологије би ми омогућила да лакше извршим пословне задатке	1	2	3	4	5
4	Било би ми лако да савладам коришћење те технологије	1	2	3	4	5
5	Било би ми лако да користим ту технологију	1	2	3	4	5
6	Верујем да бих лако научио/ла да користим ту технологију	1	2	3	4	5
7	Користио/ла бих ову технологију ако би ми колеге препоручили	1	2	3	4	5
8	Користио/ла бих ову технологију ако би ми пријатељи препоручили	1	2	3	4	5
9	Користио/ла бих ову технологију ако бих о томе видео/ла или слушао/ла на друштвеним мрежама	1	2	3	4	5
10	Имам потребне ресурсе за коришћење те технологије	1	2	3	4	5
11	Имам потребно знање за коришћење те технологије	1	2	3	4	5
12	Имам намеру да користим ту технологију у наредних 12 месеци	1	2	3	4	5
13	Сматрам да ћу користити ту технологију у наредних 12 месеци	1	2	3	4	5
14	Планирам да користим ту технологију у наредних 12 месеци	1	2	3	4	5
3	Технологија великих података (енгл. <i>Big Data</i>) представља велику количину неструктурираних и структурираних података који су сакупљени из различитих извора и у различитим облицима, а чија обрада захтева напредну аналитику, тј. анализу података. Како би могли да се примене за успешно управљање производним процесом и предвиђањима, јако је битно да подаци буду структурирани у одговарајући облик, за даљу анализу и обраду.					
Ставови		Оцене				
1	Сматрам да би та технологија била корисна у мом свакодневном раду	1	2	3	4	5
2	Употреба те технологије би ми омогућила да брже извршим пословне задатке	1	2	3	4	5
3	Употреба те технологије би ми омогућила да лакше извршим пословне задатке	1	2	3	4	5
4	Било би ми лако да савладам коришћење те технологије	1	2	3	4	5
5	Било би ми лако да користим ту технологију	1	2	3	4	5
6	Верујем да бих лако научио/ла да користим ту технологију	1	2	3	4	5
7	Користио/ла бих ову технологију ако би ми колеге препоручили	1	2	3	4	5
8	Користио/ла бих ову технологију ако би ми пријатељи препоручили	1	2	3	4	5
9	Користио/ла бих ову технологију ако бих о томе видео/ла или слушао/ла на друштвеним мрежама	1	2	3	4	5

10	Имам потребне ресурсе за коришћење те технологије	1	2	3	4	5
11	Имам потребно знање за коришћење те технологије	1	2	3	4	5
12	Имам намеру да користим ту технологију у наредних 12 месеци	1	2	3	4	5
13	Сматрам да ћу користити ту технологију у наредних 12 месеци	1	2	3	4	5
14	Планирам да користим ту технологију у наредних 12 месеци	1	2	3	4	5

ПРИЛОГ 2

Прилог 2: Биографија и библиографија аутора докторске дисертације

БИОГРАФИЈА

Теодора М. Рајковић, рођена је 10. децембра 1992. године у Београду, Република Србија. Девету београдску гимназију „Михаило Петровић-Алас” у Београду похађала је од 2007. до 2011. године (природно-математички смер) и завршила са одличним успехом. Академске 2011/12 године уписује Факултет организационих наука Универзитета у Београду, студијски програм Менаџмент и организација, а академске 2012/13 године опредељује се за упис студијске групе Операциони менаџмент. Током основних академских студија остварила је просечну оцену 9,40/10,00. Дана 29.09.2015. године одбранила је дипломски рад на тему: „Примена Интернета у електронском дизајну производа” са оценом 10, на катедри за Управљање производњом и пружањем услуга (ментор: проф. др Даница Лечић-Цветковић). Академске 2015/16 године уписала је мастер академске студије на Факултету организационих наука, студијски програм „Менаџмент и организација“, изборни модул „Управљање производњом и пружањем услуга“. Током мастер академских студија остварила је просечну оцену 10,00/10,00. Дана 02.11.2016. године одбранила је мастер рад на тему: „Унапређење управљања услугама у области културе” са оценом 10, на Катедри за управљање производњом и пружањем услуга (ментор: проф. др Даница Лечић-Цветковић). Академске 2018/19 године уписала је докторске академске студије на Факултету организационих наука, студијски програм „Информациони системи и квантитативни менаџмент”, изборно подручје „Квантитативни менаџмент“. Током докторских академских студија остварила је просечну оцену 10,00/10,00. Дана 31.10.2025. године одбранила је приступни рад на тему: „Модел за анализу детерминанти прихватања и примене информационо-комуникационих технологија у функцији унапређења управљања производњом“ (ментор: проф. др Даница Лечић-Цветковић).

Теодора Рајковић обавила је стручну праксу у сектору пословног развоја предузећа *Delhaize* Србија, Београд (фебруар – април 2014. године). Била је практикант у одељењу за развој маркетинг стратегија у банци *Societe Generale* Србија (октобар

2015. – мај 2016. године). Такође, била је запослена на пословима Планера набавке материјала за системе брисача у предузећу *Robert Bosch d.o.o.* (мај 2016. – децембар 2017. године).

На Факултету организационих наука, Универзитета у Београду, запослена је од 1. децембра 2017. године, у звању сарадника у настави за ужу научну област „Управљање производњом и услугама“. Током академске 2016/17 године, у својству сарадника ван радног односа - демонстратора, изводила је вежбе на основним академским студијама на предметима Катедре за управљање производњом и пружањем услуга у летњем семестру, на обавезном предмету „Менаџмент производње и услуга“ и на изборном предмету „Електронско управљање производњом“. Од децембра 2017. године, у два изборна периода (академске 2017/18 и 2018/2019 године), изводила је вежбе на основним академским студијама на предметима Катедре за управљање производњом и пружањем услуга, у звању сарадника у настави, по акредитацији 2014, на обавезном предмету „Менаџмент производње и услуга“ и на изборним предметима „Менаџмент кључних перформанси производње“ и „Електронско управљање производњом“. Од децембра 2019. године изводила је вежбе на основним академским студијама на поменутих предметима Катедре за управљање производњом и пружањем услуга, у звању асистента, као и на мастер академским студијама на студијском програму „Менаџмент и организација“, изборном модулу „Управљање производњом и пружањем услуга“, на обавезном предмету „Електронско управљање производњом и пружањем услуга“ и изборном предмету „Пословно извештавање и индикатори перформанси“. По акредитацији 2022, од академске 2022/23 године изводи вежбе на предметима Катедре за управљање производњом и пружањем услуга, на обавезним предметима „Менаџмент производње и пружања услуга“ и „Основе операционог менаџмента“ и на изборним предметима „Менаџмент кључних перформанси производње“ и „Дигитално управљање производњом“, као и на мастер академским студијама на студијском програму „Инжењерски менаџмент“, изборном модулу „Операциони и логистички менаџмент“, на обавезним предметима „Пословно извештавање и индикатори перформанси“ и „Менаџмент операција и квалитета“ и на изборном предмету „Дигитално управљање производњом и пружањем услуга“, као и на студијском програму „ИСиТ менаџмент“ на изборном предмету „ИСиТ у операционом менаџменту“.

Током основних академских студија била је корисник студентске стипендије Министарства просвете, науке и технолошког развоја, у трајању од три године. На основу изузетно високог просека оцена, више пута је награђивана од стране Факултета организационих наука. Активно је учествовала у бројним активностима и пројектима, међу којима се издвајају Конференција студената организационих наука (октобар 2014. и март 2013. године), Семинар о адвертајзингу ФОНкламе (март 2013. године), *Global Leaders` Summit* (фебруар 2013. године), *BBICC Case Study* трибина и *Case Study* секција, *ESTIEM* семинар (децембар 2012. године). Додатно, учествовала је на бројним такмичењима, где је постизала значајне резултате. Такмичење *EBEC* у Београду у марту 2015. године (тимско такмичење, треће место), Такмичење *Case Study Show* у Београду у марту 2015. године, Такмичење Фестивала адвертајзинга ФОНкламе у Београду у марту 2014. године (тимско такмичење, прво место), Такмичење Центара за еколошки менаџмент и одрживи развој, *MITECO* - Кнежевац, у Београду у априлу 2014. године, *T.I.M.E.S. – Tournament in Management Skills*, локалне квалификације у Београду у фебруару 2013. године и такмичење *OKS Case Study* у Београду у децембру 2012. године. Учествовала је на манифестацији Фестивал науке у Београду у децембру 2014. године и Интернационалној недељи студената у Београду (*International Student Week in Belgrade-ISWIB*) у јулу 2013. године.

Од почетка рада на Факултету организационих наука, била је ангажована као један од представника Факултета организационих наука на „Сајму образовања и наставних средстава”, Сајму књига у Београду (2018-2024. године) и међународном сајму образовања *EduFair* (2019-2022. године). Била је ангажована и као ментор студентима прве године студија на *Open Day* Факултета организационих наука (2018-2023. године). Такође, од почетка рада на Факултету учествовала је у организацији и реализацији колоквијума и испита, као и на дежурствима, учествовала је у реализацији процеса пријаве за пријемне испите за упис на основне академске студије (2018-2019. године), као и активностима спровођења анкете међу студентима основних академских студија за оцењивање запослених у настави (2018-2019. године). Од 2018. године, учествује у спровођењу пробних пријемних испита и пријемних испита за упис на основне и мастер академске студије, као и на *Info Day* као представник Катедре за управљање производњом и пружањем услуга за модул на мастер академским студијама.

Похађала је *SAP* академију (новембар-децембар 2019. године) за унапређење знања и вештина у области *ERP* софтвера *SAP*, *Online* семинар о рецензирању за истраживаче, одржаном од стране Центра за промоцију науке (мај 2021. године), *ERP* академију (април-мај 2023. године) за унапређење знања и вештина у области *ERP* софтвера *Microsoft Navision*. Додатно, била је и учесница *Erazmus+* програма „*Quality and inclusion in the new Blended Intensive Programmes for Higher Education Institutions*” seminar - a Transnational Cooperation Activity, Политехнички факултет у Темишвару, Румунија (октобар 2023. године), као и курса *English as a Medium of Instruction (EMI)* организованог од стране фондације *Tempus* (новембар 2022. године – март 2023. године), Ректорат Универзитета у Београду, Република Србија. За наведене активности поседује сертификат. Додатно, била је и учесница Семинара о наставним праксама у предузетништву под називом „Едукација у предузетништву - Добре праксе и искуства *Syracuse* универзитета“, Факултет организационих наука, Универзитет у Београд, Република Србија (децембар 2025. године). Такође, похађала је два курса Факултета организационих наука, намењених запосленима, „*SPSS* - Статистичка обрада и анализа података у *IBM SPSS* софтверу“ (јануар 2023. године) и „Пословни енглески језик“ (март-мај 2023. године). Од стране студентских организација Факултета организационих наука, била је ангажована као модератор *Online* панела „Шта након ФОН-а“, пројекта ФОН-овог Центра за развој каријере „Активан студент“ (октобар 2020. године) и била је консултант за студије случаја предузећа учесника *Case Study Show* такмичења (од 2022. године). Као студент докторских студија учествовала је на два докторска колоквијума у оквиру конференције *European Academy of Management (EURAM): Trinity* пословна школа, *Trinity College* у Даблину, Ирска (јун 2023. године) и Школа менаџмента, Универзитет у Бату, Велика Британија (јун 2024. године).

Такође, била је ангажована и на одређеном броју активности Факултета организационих наука, попут:

- Учесник у организацији и реализацији Дана факултета (новембар 2018. године);
- Члан Комисије за попис ситног инвентара, материјала, недовршених производа, готових производа, залиха робе, финансијских пласмана, потраживања, обавезе, готовине и готовинских еквивалената (децембар 2018. године);

- Члан техничког одбора XII скупа привредника и научника СПИН '19 (мај – новембар 2019. године);
- Члан Комисије за спровођење и утврђивање резултата гласања за доношење Одлуке о додатном продужењу радног односа (септембар 2020. године);
- Члан Комисије за попис рачунарске, аудио, сигурносне и телекомуникационе опреме (децембар 2020. године);
- Члан техничког одбора XIII скупа привредника и научника СПИН '21 (мај – новембар 2021. године);
- Члан организационе групе *FON Summer school* на извршењу техничких и организационих послова (април-август 2022. године);
- Члан организационог одбора XIV скупа привредника и научника СПИН '23 (мај-новембар 2023. године);
- Члан организационог одбора XV скупа привредника и научника СПИН '25 (мај 2025. године – до сада);
- Члан Комисије за библиотечки фонд (децембар 2022. године);
- Председник пописне Комисије за библиотечки фонд (децембар 2023. и децембар 2024. године).

У анонимним анкетама за оцене квалитета рада наставника и сарадника (Табела 42.) оцењена је високим оценама од почетка рада на Факултету организационих наука (4,6 - 5,00 од максималних 5,00). Подаци за летњи семестар академске 2019/20 године и зимски семестар академске 2020/21 године нису доступни, јер анкета за оцењивање квалитета рада није спроведена у том периоду због одржавање наставе у *Online* режиму. Подаци за зимски семестар академске 2021/22 године нису узети у разматрање, због малог броја студената који су попунили анкету.

Табела 42: Оцене квалитета рада сарадника Теодоре Рајковић

Р.б.	Студијски програм	Академска година и семестар	Назив предмета	Број студената који су учествовали у вредновању сарадника на овом предмету	Просечна оцена
1	Операциони менаџмент	2016-17 (летњи семестар)	Менаџмент производње и услуга	61	4,74
2	Операциони менаџмент	2017-18 (летњи семестар)	Менаџмент производње и услуга	62	4,71
3	Операциони менаџмент	2018-19 (летњи семестар)	Менаџмент производње и услуга	75	4,64
4	Операциони менаџмент	2019-20 (зимски семестар)	Менаџмент кључних перформанси производње	6	5,00
5	Операциони менаџмент	2020-21 (летњи семестар)	Менаџмент производње и пружања услуга	8	4,77
6	Операциони менаџмент	2021-22 (летњи семестар)	Менаџмент производње и пружања услуга	14	4,82
7	Операциони менаџмент	2022-23 (зимски семестар)	Менаџмент кључних перформанси производње	7	5,00
8	Операциони менаџмент	2022-23 (летњи семестар)	Менаџмент производње и пружања услуга	9	4,93
9	Информациони системи и технологије	2022-23 (летњи семестар)	Основе операционог менаџмента	9	5,00
10	Операциони менаџмент	2023-24 (летњи семестар)	Менаџмент производње и пружања услуга	20	4,6
12	Менаџмент	2023-24 (летњи семестар)	Основе операционог менаџмента	60	4,95

Теодора Рајковић одликује се израженом мотивацијом за континуирано усавршавање и активно стицање нових знања и вештина. Течно говори енглески језик и оспособљена је за рад на рачунару (*MS Office*-напредни ниво). Поседује искуство у примени различитих *ERP* софтвера, међу којима се издваја софтвер *SAP*. Члан је Алумни заједнице ФОН и Алумни Асоцијације Операционих Менаџера (AAOM).

БИБЛИОГРАФИЈА

Теодора Рајковић је аутор или коаутор преко 45 објављених радова у часописима међународног и националног значаја, монографијама међународног и националног значаја, на међународним и националним конференцијама, као и предавања по позиву на скупу националног значаја.

ЗАВРШНИ (ДИПЛОМСКИ) РАД:

Рајковић, Т. (2015). Примена Интернета у електронском дизајну производа. Факултет организационих наука, Београд. (Ментор: Проф. др Даница Лечић-Цветковић)

ЗАВРШНИ (МАСТЕР) РАД:

Рајковић, Т. (2016). Унапређење управљања услугама у области културе. Факултет организационих наука, Београд. (Ментор: Проф. др Даница Лечић-Цветковић)

ПРИСТУПНИ РАД (на докторским студијама):

Рајковић, Т. (2025). Модели за анализу детерминанти прихватања и примене информационо-комуникационих технологија у функцији унапређења управљања производњом. Факултет организационих наука, Београд. (Ментор: Проф. др Даница Лечић-Цветковић)

МОНОГРАФИЈЕ МЕЂУНАРОДНОГ ЗНАЧАЈА (M10):

1. Janković, N., Nikolić, I., **Rajković, T.** (2025). Digital and Digital Transformation Key Performance Indicators: A Systematic Literature Review. In: Štavljanin, V., Mijatović, I., Luković, I. (eds) *Unlocking the Hidden Potentials of Organization Through Merging of Humans and Digitals. SymOrg 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, 1680*, 168-184. Springer, Cham. ISBN (Print): 978-3-032-08092-9, ISBN (Online): 978-3-032-08093-6, https://doi.org/10.1007/978-3-032-08093-6_11. M13.
2. **Rajković, T.**, Vasiljević, D., & Lečić-Cvetković, D. (2022). Logistics 4.0 – Smart Transformation of Logistics and Supply Chain Management. In: Mihić, M., Jednak,

S., Savić, G. (eds) *Sustainable Business Management and Digital Transformation: Challenges and Opportunities in the Post-COVID Era*. SymOrg 2022. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 562, 386-402. Springer, Cham. ISBN (Print): 978-3-031-18644-8, ISBN (Online): 978-3-031-18645-5, https://doi.org/10.1007/978-3-031-18645-5_24. M14.

РАДОВИ У ЧАСОПИСИМА МЕЂУНАРОДНОГ ЗНАЧАЈА (M20):

1. **Rajković, T.**, Makajić-Nikolić, D., Lečić-Cvetković, D., & Aničić, N. (2025). The most commonly used Industry 4.0 technologies in manufacturing: A systematic literature review. *Advances in Production Engineering & Management*, 20(4), 507-528. <https://doi.org/10.14743/apem2025.4.555>. ISSN (Print): 1854-6250, ISSN (Online): 1855-6531. IF5=2,6. M22.
2. **Rajković, T.**, Radovanović, S., Lečić-Cvetković, D., & Suknović, M. (2025). Determinants of Digital Technologies Adoption in Manufacturing Companies: Empirical Research Based on Expanded UTAUT Model. *Journal of East European Management Studies*, 30(4), 41522. <https://doi.org/10.31083/JEEMS41522>. ISSN: 0949-6181. IF5=0,6. M23.
3. Lečić-Cvetković, D., Petković, J., Burazor, V., **Rajković, T.**, & Mihajlov, J. (2024). Improving Sales Performance Management in Textile and Fashion Companies: A Case Study of Asos. *Industria Textila*, 75(6), 693-701, <https://doi.org/10.35530/IT.075.06.20249>. ISSN: 1222-5347. IF5=0,9. M22.
4. Lečić-Cvetković, D., Cvetković, J., Janičić, R., Jovanović, V., **Rajković, T.**, & Vukčević, M. (2024). The comparison of the selected key performance indicators between the primary health care centers in Belgrade. *Srpski arhiv za celokupno lekarstvo*, 152 (1-2), 56-62. <https://doi.org/10.2298/SARH220301001L>. ISSN: 0370-8179. IF5=0,2. M23.
5. **Rajković, T.**, Lečić-Cvetković, D., Perović, J., & Petković, J. (2023). Measuring improvements of the education system in the COVID-19 pandemic – A case study of Serbia. *Information Development*, First online 06. November 2023, <https://doi.org/10.1177/02666669231211533>. ISSN: 0266-6669. IF5=2,3. M22.
6. Lečić-Cvetković, D., Kuveljić, G., **Rajković, T.**, Janičić, R., & Aničić, N. (2023). Improving Healthcare Institutions Efficiency After Covid-19 by Application of Key

- Performance Indicators: A Case of Serbia. *Romanian Journal of Legal Medicine*, 31(1), 50-58. <https://doi.org/10.4323/rjlm.2023.50>. ISSN: 1221-8618. IF5=0,3. M23.
7. Rađenović, I., Lečić-Cvetković, D., **Rajković, T.**, & Aničić, N. (2023). Textile industry and coronavirus – the impact of the pandemic on sales performance: a case study of Inditex. *Industria Textila*, 74(3), 259-266, <https://doi.org/10.35530/IT.074.03.202237>. ISSN: 1222-5347. IF5=0,9. M22.
8. **Rajković, T.**, Đorđević-Milutinović, L., & Lečić-Cvetković, D. (2020). Spreadsheet model for determining adequate performance indicators of production management. *Management: Journal Of Sustainable Business And Management Solutions In Emerging Economies*, 25(3), 13-22. <https://doi.org/10.7595/management.fon.2020.0011>. M24.

ЗБОРНИЦИ МЕЂУНАРОДНИХ НАУЧНИХ СКУПОВА (М30):

1. Maričić, M., **Rajković, T.**, & Ignjatović, M. (2025). Gender Equality in the EU on Health and Life Expectancy: How Can Member States be Segmented? *Aging & Social Change: Fifteenth Interdisciplinary Conference Book of Abstracts*, Norrköping, Sweden. Prihvaćen rad, u procesu publikovanja. M34.
2. Maričić, M., Drinjak, N. & **Rajković, T.** (2025). Sports meet sharing economy: Acceptance of equipment rentals platforms. In Eds. C. Ley et al. (Eds.), *MathSport International 2025 Book of Abstracts* (pp. 71), Luxembourg. https://github.com/maximelucas/AMCOS_booklet. M34.
3. **Rajković, T.**, Maričić, M., Lečić-Cvetković, D. & Kićanović, A. (2025). Digital transformation and industrial revolutions in the manufacturing sector: Topic modeling insights. In *Proceedings of 25th EURAM 2025 Conference “Managing with purpose”*, Florence, Italy. ISSN: 2466-7498, ISBN: 978-2-9602195-7-9. M33.
4. Đukanović, S., Lečić-Cvetković, D. & **Rajković, T.** (2025). Reducing production costs by minimizing errors in the operational production: a case study of company Vendom. In *Proceedings of 44th International Conference on Organizational Science Development: Human Being, Artificial Intelligence and Organization, Conference Proceedings* (pp. 201-212), Portorož, Slovenia, ISBN: 978-961-286-963-2, <https://doi.org/10.18690/um.fov.2.2025.17>. M33.

5. Đukanović, S., Lečić-Cvetković, D. & **Rajković, T.** (2025). Improving procurement process management by application of KPIs in the company from metal industry. In *Proceedings of 44th International Conference on Organizational Science Development: Human Being, Artificial Intelligence and Organization, Conference Proceedings* (pp. 187-199), Portorož, Slovenia, ISBN: 978-961-286-963-2, <https://doi.org/10.18690/um.fov.2.2025.16>. M33.
6. Janković, N., Lečić-Cvetković, D. & **Rajković, T.** (2025). Entrepreneurship empowered by artificial intelligence. In *Proceedings of 44th International Conference on Organizational Science Development: Human Being, Artificial Intelligence and Organization, Conference Proceedings* (pp. 319-330), Portorož, Slovenia, ISBN: 978-961-286-963-2, <https://doi.org/10.18690/um.fov.2.2025.26>. M33.
7. Janković, N., Nikolić, I., & **Rajković, T.** (2024). Digital Transformation and Key Performance Indicators in Manufacturing: A Comprehensive Literature Review. In *Proceedings book of XIX International Symposium "Unlocking the Hidden Potential of Organization Through Merging of Humans And Digital" SYMORG 2024* (pp. 379-385), University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Zlatibor, Serbia, ISBN: 978-86-7680-464-1. M33.
8. **Rajković, T.**, Maričić, M., Nikolić, D., & Lečić-Cvetković, D. (2024). Preferences of Gen Z Towards Using Sharing Economy Platforms in the Fashion Industry: Evidence from Serbia. In *Proceedings book of 1st International Conference on Sharing Economy and Contemporary Business Models: Theory and Practice – "IC-SHARE 2024"* (pp. 21-25), Belgrade, Serbia, ISBN: 978-86-7680-469-6, <https://doi.org/10.62863/KEBD4021>. M33.
9. **Rajković, T.**, Nikolić, I., Janković, N., & Lečić-Cvetković, D. (2024). Implementation of Industry 4.0: Examples from the Serbian Manufacturing Industry. In *Proceedings book of 43rd International Conference on Organizational Science Development Green and Digital Transition – Challenge or Opportunity: Conference Proceedings* (pp. 847-859), Portorož, Slovenia, ISBN: 978-961-286-842-0, <https://doi.org/10.18690/um.fov.3.2024>. M33.
10. Maricic, M., **Rajkovic, T.**, Lecic-Cvetkovic, D., & Ignjatovic, M. (2023). Statistics Anxiety: What are the antecedents? In *Proceedings of the 5th International Conference on Statistics: Theory and Applications (ICSTA'23)*, Brunel University,

- London, United Kingdom, Paper No. 10.11159/icsta23.104, ISBN: 978-1-990800-25-2, ISSN: 2562-7767, <https://doi.org/10.11159/icsta23.104>. M33.
11. **Rajkovic, T.**, Maricic, M., Andjelic, O., & Ignjatovic, M. (2023). Using Indicators of Entrepreneurial Ecosystem Quality for Segmenting Countries: A Biclustering Approach. In *Proceedings of the 5th International Conference on Statistics: Theory and Applications (ICSTA'23)*, Brunel University, London, United Kingdom, Paper No. 133, ISBN: 978-1-990800-25-2, ISSN: 2562-7767, <https://doi.org/10.11159/icsta23.133>. M33.
 12. Jovanović, I., **Rajković, T.**, Maričić, M., Slović, D. (2022). Exploring the success of students' distance learning in the time of Covid-19. In *Proceedings book of International Academic Conference on Economics, Business and Contemporary Discussions in Social Science, The MIRDEC-18th* (pp. 203-211), Lisabon, Portugal. ISBN: 978-605-74781-5-3. M33.
 13. **Rajković, T.**, Vasiljević, D., & Lečić-Cvetković, D. (2022). Towards a Conceptual Framework of Logistics 4.0. In *Proceedings book of abstracts XVIII International Symposium "Sustainable Business Management and Digital Transformation: Challenges and Opportunities in the Post-COVID Era" SYMORG 2022* (pp. 139-141), University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Belgrade, Serbia, ISBN: 978-86-7680-411-5. M34.
 14. Čurović, T., Lečić-Cvetković, D., & **Rajković, T.** (2022). Women's Entrepreneurship - Measures for the Development: Case Study of Republic of Serbia, In *Proceedings book of abstracts XVIII International Symposium "Sustainable Business Management and Digital Transformation: Challenges and Opportunities in the Post-COVID Era" SYMORG 2022* (pp. 142-143), University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Belgrade, Serbia, ISBN: 978-86-7680-411-5. M34.
 15. Kalem, M., Lazarević, A., **Rajković, T.**, Lečić-Cvetković, D., & Glavonjić, B. (2021). The Impact of Production Planning Errors on Wood Floor Production Efficiency, In *Proceedings book of 14th International Scientific Conference "The Response of the Forest-Based Sector to Changes in the Global Economy" WoodEMA 2021* (pp. 153-159), Koper, Slovenia, ISBN: 978-961-6144-41-4 (PDF). M33.
 16. Kalem, M., Lazarević, A., **Rajković, T.**, Lečić-Cvetković, D., & Glavonjić, B. (2020). Impacts of Business Information Systems Application to Production and

- Business Management in the Serbian Wood Industry Companies. In *Proceedings book of 13th International Scientific Conference "Sustainability of Forest-Based Industries in the Global Economy" WoodEMA 2020, 31st International Scientific Conference ICWST 2020* (pp. 177-181), Vinkovci, Croatia, ISBN: 978-953-57822-8-5. M33.
17. **Rajković, T.**, Kalem, M., & Lečić-Cvetković, D. (2020). Application of Business Information Systems in Serbian Wood Industry, In *Proceedings book of XVII International Symposium "Business and Artificial Intelligence" SYMORG 2020* (pp. 26-33), Online version, University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Belgrade, Serbia, ISBN: 978-86-7680-385-9. M33.
 18. **Rajković, T.**, Makajić-Nikolić, D., Vujošević, M., & Lečić-Cvetković, D. (2019). Управљање производњом применом адекватних индикатора перформанси (in English: Production Management by Application of Appropriate Performance Indicators). In *Proceedings book of XLVI International Symposium on Operational Research, SYM-OP-IS 2019* (pp. 524-529), Kladovo, Serbia, ISBN: 978-86-7680-363-7. M33.
 19. **Rajković, T.**, Lečić-Cvetković, D. & Radosavljević, J. (2019). Improvement of the Production Management in the Automotive Industry Based on KPIs. In *Proceedings book of 38th International Conference on Organizational Science Development "Ecosystem of Organizations in the Digital Age"* (pp. 861- 871), Portorož, Slovenia, ISBN: 978-961-286-250-3, <https://doi.org/10.18690/978-961-286-250-3.66>. M33.
 20. Savičić, D., **Rajković, T.**, & Babarogić, S. (2018). Information and Communication Technologies as Support for Inventory Control in the Automotive Industry, In *Proceedings book of XVI International Symposium "Doing Business in the Digital Age: Challenges, Approaches and Solutions" SYMORG 2018* (pp. 1051 – 1058), Zlatibor, Serbia, ISBN: 978-86-7680-361-3. M33.
 21. Stojković, M., **Rajković, T.**, & Lečić-Cvetković, D. (2018). SAP APO Application in the Production Process from Automotive Industry. In *Proceedings book of XVI International Symposium "Doing Business in the Digital Age: Challenges, Approaches and Solutions" SYMORG 2018* (pp. 1029 – 1035), Zlatibor, Serbia, ISBN: 978-86-7680-361-3. M33.

22. **Rajković, T.,** Lečić-Cvetković, D., Đorđević, L., & Mihajlov, Z. (2018). KPI Based Model for Improvement of Procurement Process Management. In *Proceedings book of XIII Balkan Conference on Operational Research BALCOR 2018* (pp. 315 – 322), Belgrade, Serbia, ISBN: 978-86-80593-64-7. M33.
23. **Rajković, T.,** & Lečić-Cvetković, D. (2018). Usage of RFID Technology in Production Management. In *Proceedings book of 37th International Conference on Organizational Science Development "Organization and Uncertainty in the Digital Age"* (pp. 923 – 933), Portorož, Slovenia, ISBN: 978-961-286-146-9, <https://doi.org/10.18690/978-961-286-146-9>. M33.
24. **Rajković, T.,** Đorđević, L., Lečić-Cvetković, D., & Milutinović, R. (2017). Spreadsheet Model for Managing Special Events. In *Proceedings book of 36th International Conference on Organizational Science Development "Responsible Organization"* (pp. 839 – 850), Portorož, Slovenia, ISBN: 978-961-286-020-2, <https://doi.org/10.18690/978-961-286-020-2>. M33.

МОНОГРАФИЈЕ НАЦИОНАЛНОГ ЗНАЧАЈА (M40):

1. **Рајковић, Т.,** Грбовић, М., Лечић-Цветковић, Д., & Гагић, Ј. (2024). Примена Web EDI алата у аутомобилској индустрији. У: Лечић-Цветковић, Д., Делибашић, Б., Кривокапић, Ј. (Уредници), *Разоткривање скривених потенцијала организација спајањем људи и дигиталних технологија* (стр. 137-155). Београд: Факултет организационих наука. ISBN: 978-86-7680-476-4. M44.
2. Лечић-Цветковић, Д., Чуровић, Т. & **Рајковић, Т.** (2023). Карактеристике, баријере и мере за развој женског предузетништва у Републици Србији. У: Стошић, Б., Лазаревић, С., Костић-Станковић, М. (Уредници), *Одрживо управљање пословањем: иновације, софтвер и комуникације* (стр. 75-99). Београд: Факултет организационих наука. ISBN: 978-86-7680-423-8. M44.

РАДОВИ ОБЈАВЉЕНИ У ЧАСОПИСИМА НАЦИОНАЛНОГ ЗНАЧАЈА (M50):

1. Васиљевић, Д., Маричић, М, Игњатовић, М., & **Рајковић, Т.** (2023). Моделовање и прогноза броја квартално активних корисника друштвене мреже Facebook на светском нивоу. *ИнфоМ часопис за информационе технологије и*

мултимедијалне системе, 2023(77), 34-40. ISSN (Printed): 1451-4397, ISSN (Online): 2683-3646. M53.

2. Самарџија, Ј., Лечић-Цветковић, Д., & **Рајковић, Т.** (2022). Примена кључних индикатора перформанси у управљању безбедношћу података. *ИнфоМ часопис за информационе технологије и мултимедијалне системе*, 2022(75-76), 4-8. ISSN: 1451-4397, ISSN (Online): 2683-3646. M53.

РАДОВИ У ЗБОРНИЦИМА НАЦИОНАЛНИХ СКУПОВА ШТАМПАНИ У ЦЕЛИНИ И ПРЕДАВАЊА ПО ПОЗИВУ НА СКУПОВИМА НАЦИОНАЛНОГ ЗНАЧАЈА (M60):

1. Здравих, А., **Рајковић, Т.**, & Лечић-Цветковић, Д. (2025). Примена дигиталних технологија у управљању производњом и пружањем услуга у фармацеутској индустрији. *СПИН 2025* (стр. 132-140), Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18011812>, ISBN: 978-86-7680-499-3. M63.
2. Бркић, Т., Лечић-Цветковић, Д. & **Рајковић, Т.** (2025). Примена KPI за унапређење управљања набавком у аутомобилској индустрији. *СПИН 2025* (стр. 141-148), Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18011842>, ISBN: 978-86-7680-499-3. M63.
3. **Рајковић, Т.** (2024). Дигитализација и аутоматизација – примена Индустрије 4.0 за унапређење управљања производњом. Предавање по позиву, *XVIII саветовање „Одрживи развој Браничевског округа и енергетског комплекса Костолац”*, Пожаревац, Србија, ISBN: 978-86-902797-9-1. M61.
4. Јанковић, Н., Лечић-Цветковић, Д., & **Рајковић, Т.** (2023). Унапређење услуга шпедиције робе широке потрошње применом KPI. У *Зборнику радова XIV Скупа привредника и научника „Дигитални и зелени развој привреде“*, *СПИН 2023* (стр. 852-860), Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија, ISBN: 978-86-7680-446-7. M63.
5. Николић, И., Лечић-Цветковић, Д., & **Рајковић, Т.** (2023). Примена KPI за унапређење управљања продајом у малопродајним објектима. У *Зборнику радова XIV Скупа привредника и научника „Дигитални и зелени развој*

- привреде“, *СПИН 2023* (стр. 861-869), Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија, ISBN: 978-86-7680-446-7. М63.
6. **Рајковић, Т.**, Лечић-Цветковић, Д., & Калем, М. (2023). Дигитални близанац: примена савремене технологије у производњи. У *Зборнику радова XIV Скупа привредника и научника „Дигитални и зелени развој привреде“*, *СПИН 2023* (стр. 879-886), Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија, ISBN: 978-86-7680-446-7. М63.
 7. Станић, М., Лечић-Цветковић, Д., **Рајковић, Т.**, & Калем, М. (2021). Унапређење набавке применом ERP SAP. У *Зборнику радова XIII скупа привредника и научника „Индустрија 4.0 – Могућности, изазови и решења за дигиталну трансформацију привреде“* *СПИН 2021* (стр. 48-55), Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија, ISBN: 978-86-7680-396-5. М63.
 8. Цекић, Ј., Лечић-Цветковић, Д., & **Рајковић, Т.** (2021). Унапређење управљања производњом у нафтној индустрији. У *Зборнику радова XIII скупа привредника и научника „Индустрија 4.0 – Могућности, изазови и решења за дигиталну трансформацију привреде“* *СПИН 2021*, (стр. 12-20), Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија, ISBN: 978-86-7680-396-5. М63.
 9. Самарџија, Ј., Лечић-Цветковић, Д., & **Рајковић, Т.** (2021). Унапређење безбедности података применом KPI. У *Зборнику радова XIII скупа привредника и научника „Индустрија 4.0 – Могућности, изазови и решења за дигиталну трансформацију привреде“* *СПИН 2021* (стр. 39-47), Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија, ISBN: 978-86-7680-396-5. М63.
 10. Калем, М, **Рајковић, Т.**, Лазаревић, А., & Лечић-Цветковић, Д. (2019). Примена Интернета у дрвној индустрији Србије. У *Зборнику радова XII скупа привредника и научника „Лин трансформација и дигитализација привреде Србије“* *СПИН 2019* (стр. 243-249), Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија, ISBN: 978-86-7680-365-1. М63.
 11. Бокшан, М., **Рајковић, Т.**, Костић-Станковић, М., & Лечић-Цветковић, Д. (2019). Утицај инфлуенсера на Интернет предузетништво. У *Зборнику радова XII скупа привредника и научника „Лин трансформација и дигитализација привреде*

Србије“ *СПИН 2019* (стр. 115-122), Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија, ISBN: 978-86-7680-365-1. М63.

12. **Рајковић, Т. & Лечић-Цветковић, Д.** (2017). Управљање услугама организације специјалних догађаја применом ИКТ-а. У *Зборнику радова научног скупа „Штедљиво (Lean) управљање ресурсима у привреди Републике Србије“ СПИН 2017* (стр. 121-128), Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, Београд, Србија, ISBN: 978-86-7680-343-9. М63.
13. **Рајковић, Т.** (2015). Основни елементи пројекта иновације производа и процеса. У *Зборнику радова научног скупа „Иновативна решења операционог менаџмента за ревитализацију привреде Србије“ СПИН 2015*, (стр. 646-653), Универзитет у Београду, Факултет организационих наука, ФОН, Београд, Србија, ISBN: 978-86-7680-320-0. М63.

ПРИЛОГ 3

Прилог 3а: Изјава о ауторству

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Име и презиме аутора Теодора Рајковић

Број индекса 5009/2018

Изјављујем да је докторска дисертације под насловом

Модели кључних детерминанти прихватања и примене информационо-комуникационих технологија у функцији унапређења управљања производњом

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршила ауторска права и користила интелектуалну својину других лица.

У Београду,

Потпис аутора

**Прилог 36: Изјава о истовестности штампане и електронске верзије
докторског рада**

***ИЗЈАВА О ИСТОВЕСТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКОГ РАДА***

Име и презиме аутора Теодора Рајковић

Број индекса 5009/2018

Студијски програм Информациони системи и квантитативни менаџмент

Наслов рада Модели кључних детерминанти прихватања и примене
информационо-комуникационих технологија у функцији унапређења управљања
производњом

Ментор Проф. др Даница Лечић-Цветковић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истовестна електронској верзији коју сам предала ради похрањења у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум објаве рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

У Београду,

Потпис аутора

Прилог Зв: Изјава о коришћењу

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Модели кључних детерминанти прихватања и примене информационо-комуникационих технологија у функцији унапређења управљања производњом која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду 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 одлучила.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
- ③ 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,

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.