



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ДЕПАРТАМАН ЗА ИНДУСТРИЈСКО ИНЖЕЊЕРСТВО И МЕНАЏМЕНТ



Ненад Медић

**МОДЕЛ ЗА ЕВАЛУАЦИЈУ ОРГАНИЗАЦИОНИХ И
ТЕХНОЛОШКИХ КОНЦЕПАТА У ПРЕРАЂИВАЧКОМ
СЕКТОРУ ИЗ ПЕРСПЕКТИВЕ ИНДУСТРИЈЕ 4.0**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2020. године



КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографска публикација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација
Аутор, АУ:	Ненад Медић
Ментор, МН:	Проф. др Зоран Анишић Проф. др Миран Брезочник
Наслов рада, НР:	Модел за евалуацију организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору из перспективе Индустрије 4.0
Језик публикације, ЈП:	Српски
Језик извода, ЈИ:	Српски
Земља публикавања, ЗП:	Република Србија
Уже географско подручје, УГП:	АП Војводина, Нови Сад
Година, ГО:	2020.
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт
Место и адреса, МА:	Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	8/137/195/27/14/3/1
Научна област, НО:	Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент
Научна дисциплина, НД:	Производни системи, организација и менаџмент
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Индустрија 4.0, прерађивачки сектор, организација, технологије, вишекритеријумско одлучивање
УДК	
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	Истраживање у докторској дисертацији односи се на примену организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору, са акцентом на њихов допринос савременим трендовима производње, дефинисаним у оквиру Индустрије 4.0. Основни циљ истраживања је да се развије концептуални модел за евалуацију организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору, а након тога да се модел емпиријски примени са циљем утврђивања специфичних концепата који, посматрано из перспективе савремених производних трендова, имају највећи значај за компаније. За сврхе овог истраживања коришћене су методе за вишекритеријумско одлучивање. Развијени модел може се користити у будућим истраживањима, док се резултати могу користити за стратешку оријентацију компанија које су заинтересоване да се прилагоде и да послују у складу са савременим трендовима производње.
Датум прихватања теме, ДП:	27.06.2019.
Датум одбране, ДО:	
Чланови комисије, КО:	Председник: др Бојан Лалић, ванредни професор Члан: др Немања Тасић, доцент Члан: др Миладин Стефановић, редовни професор Члан, ментор: др Зоран Анишић, редовни професор Члан, ментор: др Миран Брезочник, редовни професор
	Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual printed material
Contents code, CC :	PhD thesis
Author, AU :	Nenad Medić
Mentor, MN :	Zoran Anišić, PhD Miran Brezočnik, PhD
Title, TI :	A model for evaluation of organizational and technological concepts in the manufacturing sector from the perspective of Industry 4.0
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	AP Vojvodina, Novi Sad
Publication year, PY :	2020
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	8/137/195/27/14/3/1
Scientific field, SF :	Industrial Engineering and Engineering Management
Scientific discipline, SD :	Production Systems, Organization and Management
Subject/Key words, S/KW :	Industry 4.0, manufacturing, organization, technology, multi-criteria decision making
UC	
Holding data, HD :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Novi Sad
Note, N :	
Abstract, AB :	This research is related to the use of organizational and technological concepts in manufacturing companies, highlighting their contribution to the production principles of Industry 4.0. The main purpose of this research is to develop a model for evaluation of organizational and technological concepts in the manufacturing sector from the perspective of Industry 4.0. Consequently, the model was used to determine which organizational and technological concepts are contributing the most to the production principles of Industry 4.0. The developed model could be used in future research, while the results presented in this research could serve for strategic orientation of manufacturers.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	27.06.2019.
Defended on, DE :	
Defended Board, DB :	
President:	Bojan Lalić, PhD, Associate Professor
Member:	Nemanja Tasić, PhD, Assistant Professor
Member:	Miladin Stefanović, PhD, Full Professor
Member, Mentor:	Zoran Anišić, PhD, Full Professor
Member, Mentor:	Miran Brezočnik, PhD, Full Professor
	Mentor's sign

ЗАХВАЛНОСТ

За израду докторске дисертације велику захвалност дугујем менторима, проф. др Зорану Анишићу и проф. др Мирану Брезочнику, на корисним саветима, сугестијама, несебичном дељењу знања и подршци на сваком кораку на овом путу. Захвалио бих се и проф. др Бојану Лалићу, председнику комисије, који ме је увео у ово истраживање и који је увек био спреман да одговори на сва моја питања и недоумице. Захвалан сам и осталим члановима комисије, проф. др Миладину Стефановићу и доц. др Немањи Тасићу, који су увек били доступни за мене и пружили ми подршку приликом израде докторске дисертације.

Захваљујем се и свим својим колегама са којима блиско сарађујем, као и свим пријатељима. Свако од вас је на свој начин учинио да будем бољи човек, бољи истраживач, што ми је у великој мери помогло да истрајем на овом путу. Захвалан сам вам и на разумевању које сте имали за мене у периоду израде докторске дисертације.

Неизмерну захвалност осећам и према својој породици, без које би овај животни период сигурно био далеко тежи и компликованији. Свакако би имао мање смисла. Захваљујем се родитељима Радмили и Ђури и брату Мирку који ме цео живот безрезервно подржавају у свему што радим, па тако и на овом путу. Посебно се захваљујем супрузи Ивани, ћерки Исидори и сину Михајлу, који су увек имали разумевања за мене и давали ми енергију, вољу и снагу када је било најтеже и најпотребније, због чега им посвећујем ову докторску дисертацију.

Садржај

I. УВОД	1
1. ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА	1
1.1. Иновације	1
1.2. Концепт Индустије 4.0	2
2. ПОТРЕБА ЗА ИСТРАЖИВАЊЕМ	5
3. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА	6
3.1. Хипотезе	7
3.2. Истраживачки модел	8
4. СТРУКТУРА ДИСЕРТАЦИЈЕ	9
II. ТЕОРИЈСКЕ ПОДЛОГЕ	10
5. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИНДУСТРИЈЕ 4.0	10
5.1. Интернационалне иницијативе у контексту Индустије 4.0	12
5.1.1. Иницијативе у Европској унији	12
5.1.2. Иницијатива у Сједињеним Америчким Државама	14
5.1.3. Иницијатива у Кини	14
5.1.4. Иницијативе у осталим земљама	15
5.2. Технологије које омогућавају примену концепта Индустије 4.0	16
5.2.1. Интернет ствари	17
5.2.2. Сајбер-физички системи и сајбер безбедност	18
5.2.3. Рачунарство у облаку	19
5.2.4. Анализа велике количине података	19
5.2.5. Симулације	20
5.2.6. Виртуелна реалност и проширена реалност	21
5.2.7. Адитивне производне технологије	22
5.2.8. Хоризонтална и вертикална интеграција система	23
5.2.9. Аутономни роботи	24
5.3. Приоритетне области	24
5.3.1. Стандарди за архитектуру система	24
5.3.2. Управљање комплексним системима	25
5.3.3. Дефинисање индустријске инфраструктуре	26
5.3.4. Безбедност на раду и сигурност система	27
5.3.5. Организација рада	27
5.3.6. Тренинг и континуирано професионално усавршавање	28
5.3.7. Регулаторни оквир	29
5.3.8. Ефикасност при употреби ресурса	29
5.4. Индустија 4.0 у земљама у развоју	30
6. ОРГАНИЗАЦИОНИ КОНЦЕПТИ У ПЕРЕРАЂИВАЧКОМ СЕКТОРУ	34
6.1. Организација производње	35
6.1.1. Стандардизоване и детаљне писане радне инструкције	35

6.1.2.	Мере унапређења интерне логистике	36
6.1.3.	Оптимизација процеса производње	37
6.1.4.	Интеграција радних задатака	39
6.1.5.	Организација производње према PULL принципу	39
6.2.	<i>Управљање производњом</i>	41
6.2.1.	Методe за обезбеђење квалитета у производњи	41
6.2.2.	Управљање производњом применом визуелних алата	43
6.2.3.	Методe операционог менаџмента	44
6.2.4.	ИСО стандарди	45
6.3.	<i>Управљање људским ресурсима</i>	47
7.	ТЕХНОЛОШКИ КОНЦЕПТИ У ПРЕРАЂИВАЧКОМ СЕКТОРУ	49
7.1.	<i>Дигиталне технологије</i>	49
7.1.1.	Мобилни/бежични уређаји за програмирање и руковање опремом и машинама	50
7.1.2.	Примена дигиталних решења у производном погону за приказ цртежа, радних планова и радних инструкција	51
7.1.3.	Рачунаром подржано планирање и управљање производњом	53
7.1.4.	Менаџмент ланцима снабдевања	55
7.1.5.	Системи за контролу и управљање производњом у реалном времену	57
7.1.6.	Системи за аутоматизацију и менаџмент интерном логистиком	58
7.1.7.	Системи за управљање животним циклусом производа	59
7.1.8.	Виртуелна реалност или симулација за пројектовање или развој производа	61
7.2.	<i>Аутоматика и роботика</i>	63
7.2.1.	Индустријски роботи у производњи	64
7.2.2.	Индустријски роботи за послове руковања материјалом	64
7.3.	<i>Адитивне производне технологије</i>	65
7.3.1.	Технологија 3Д штампе за израду прототипа, показних модела и пробне производње	65
7.3.2.	Технологија 3Д штампе за производњу производа, компоненти, облика и алата	66
7.4.	<i>Технологије за енергетску ефикасност</i>	66
8.	ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКО ОДЛУЧИВАЊЕ	67
8.1.	<i>Стандардне методе</i>	68
8.1.1.	АНП/ANP	69
8.1.2.	TOPSIS	71
8.1.3.	VIKOR	71
8.1.4.	ELECTRE	72
8.1.5.	PROMETHEE	73
8.2.	<i>Фази логика у вишекритеријумском одлучивању</i>	74
8.3.	<i>Вишекритеријумско одлучивање у прерађивачком сектору</i>	75
9.	КОНЦЕПТУАЛНИ МОДЕЛ ИСТРАЖИВАЊА	76

III. ИСТРАЖИВАЧКИ ДЕО.....	79
10. МЕТОДОЛОГИЈА	79
10.1. <i>Примењене методе за вишекритеријумско одлучивање</i>	<i>79</i>
10.1.1. АНР.....	80
10.1.2. PROMETHEE	84
10.2. <i>Процедура прикупљања података</i>	<i>85</i>
IV. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА	90
11. ДЕМОГРАФИЈА УЗОРКА	90
12. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА	94
12.1. <i>Евалуација организационих концепата у прерађивачком сектору</i>	<i>95</i>
12.2. <i>Евалуација технолошких концепата у прерађивачком сектору</i>	<i>101</i>
12.3. <i>Корелациона анализа.....</i>	<i>107</i>
V. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА.....	109
13. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА	109
VI. ЗАКЉУЧЦИ И ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА.....	118
14. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА.....	118
15. ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА.....	119
VII. ЛИТЕРАТУРА.....	120
VIII. ПРИЛОГ – ИСТРАЖИВАЧКИ ИНСТРУМЕНТ	136

ЛИСТА СЛИКА

Слика 1. Општи истраживачки модел

Слика 2. Преглед индустријских револуција

Слика 3. Напредне технологије које омогућавају трансформацију индустријске производње

Слика 4. Интернет ствари

Слика 5. Анализа велике количине података

Слика 6. Принципи TQM-а

Слика 7. ЕРП систем

Слика 8. Елементи у ланцу снабдевања

Слика 9. Примена РФИД технологије

Слика 10. Примена ПЛМ-а

Слика 11. Виртуелно инжењерство

Слика 12. Модел за евалуацију организационих концепата

Слика 13. Модел за евалуацију технолошких концепата

Слика 14. Хијерархијска структура проблема

ЛИСТА ТАБЕЛА

Табела 1. Скала девет тачака

Табела 2. Функција припадности фази бројева

Табела 3. Вредности случајног индекса у зависности од величине матрице

Табела 4. Број компанија према величини

Табела 5. Број компанија према делатности у којој послују

Табела 6. Број компанија према округу у ком послују

Табела 7. Димензије, критеријуми и алтернативе за евалуацију организационих концепата

Табела 8. Поређење димензија за евалуацију организационих концепата

Табела 9. Поређење критеријума за евалуацију организационих концепата који се односе на производњу

Табела 10. Поређење критеријума за евалуацију организационих концепата који се односе на развој производа

Табела 11. Поређење критеријума за евалуацију организационих концепата који се односе на величину серије

Табела 12. Поређење критеријума за евалуацију организационих концепата који се односе на сложеност производа

Табела 13. Степен конзистентности приликом поређења димензија и критеријума за евалуацију организационих концепата

Табела 14. Матрица за евалуацију организационих концепата

Табела 15. Ранг организационих концепата

Табела 16. Интервал стабилности тежинских коефицијената за евалуацију организационих концепата

Табела 17. Димензије, критеријуми и алтернативе за евалуацију технолошких концепата

Табела 18. Поређење димензија за евалуацију технолошких концепата

Табела 19. Поређење критеријума за евалуацију технолошких концепата који се односе на производњу

Табела 20. Поређење критеријума за евалуацију технолошких концепата који се односе на развој производа

Табела 21. Поређење критеријума за евалуацију технолошких концепата који се односе на величину серије

Табела 22. Поређење критеријума за евалуацију технолошких концепата који се односе на сложеност производа

Табела 23. Степен конзистентности приликом поређења димензија и критеријума за евалуацију технолошких концепата

Табела 24. Матрица за евалуацију технолошких концепата

Табела 25. Ранг технолошких концепата

Табела 26. Интервал стабилности тежинских коефицијената за евалуацију технолошких концепата

Табела 27. Корелација између доминирајућих организационих и технолошких концепата

ЛИСТА ГРАФИКА

График 1. Однос компанија у популацији и узорку према величини

График 2. Однос компанија у популацији и узорку према делатности

График 3. Однос компанија у популацији и узорку према округу

I. УВОД

1. Предмет истраживања

Истраживање у докторској дисертацији се односи на примену организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору, са акцентом на њихов допринос савременим трендовима производње, дефинисаним у оквиру Индустије 4.0. Посматрано из тог угла, компаније би требало да уводе у производне процесе оне организационе и технолошке концепте за које се утврди да имају значајан допринос у имплементацији концепта Индустије 4.0. Увођење нових концепата је веома важно за пословање компанија, због чега ће у овом делу истраживања бити дат кратак преглед могућих начина иновативности компанија које припадају прерађивачком сектору. Након тога ће бити представљен концепт Индустије 4.0 са нагласком и детаљнијим објашњењем типова иновација који су у овом контексту препознати као значајни.

1.1. Иновације

Иновативност представља један од основних фактора за опстанак и одрживост компанија на све конкурентнијем тржишту (Fagerberg, Mowery, and Nelson 2004). Компаније које не подстичу иновативност у свом пословању, могу себе довести у ризик од губљења положаја на тржишту. Без иновативног размишљања, компаније не могу да се развијају на прави начин, што на дуже стазе свакако смањује њихов иновациони потенцијал, а затим и конкурентност и вероватноћу будућих пословних успеха. Управо из тог разлога, компаније морају константно да истражују и иновирају како би обезбедиле свој опстанак и даљи развој (Rigby, Gruver, and Allen 2009).

Оно што је важно напоменути је да постоје различити облици иновација које компаније могу да примењују у свом пословању. Због комплексности процеса иновирања и варијација потенцијалних начина на које компаније могу да иновирају, потребно је утврдити шта се тачно подразумева под појмом иновација. Постоји низ дефиниција и подела иновација које у литератури можемо идентификовати, али се једна истиче као најприхватљивија и најчешће коришћена. Према тој подели, постоје четири типа иновација од којих два припадају групи технолошких иновација, док два припадају групи нетехнолошких иновација (OECD 2007):

- Технолошке иновације
 - Иновације производа
 - Иновације процеса
- Нетехнолошке иновације
 - Организационе иновације
 - Иновације маркетинга

Кроз ову поделу је покривен веома широк спектар иновација које компаније могу да имплементирају у оквиру свог пословања. У наставку ће бити представљен концепт Индустрије 4.0 који ће бити доведен у контекст типова иновација који су препознати као значајни за компаније које желе да прате савремене трендове у производњи, односно имају тенденцију да имплементирају концепт Индустрије 4.0.

1.2. Концепт Индустрије 4.0

Индустријске револуције су још од самих почетака индустријализације биле проузроковане технолошким напретком и унапређењима (Lasi et al. 2014). У последње време су нове технологије нашле своју примену у производним системима, што доводи до четврте индустријске револуције (S. Wang et al. 2016). Четвртом индустријском револуцијом, познатом под називом Индустрија 4.0, производни процеси постају све компликованији, али захваљујући примени нових технологија они су у највећој мери дигитализовани и аутоматизовани. У великом броју истраживања се наглашава да ће се у оквиру Индустрије 4.0 производња састојати од размене информација која омогућава ефикаснију контролу машина и производних јединица, што даље омогућава њихово аутономно и интелигентно деловање (Qin, Liu, and Grosvenor 2016).

У процесу увођења концепта Индустрије 4.0, компаније треба да реализују најмање три основна типа интеграција (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013):

- Хоризонталну интеграцију између различитих компанија која омогућава њихову једноставнију и квалитетнију сарадњу
- Вертикалну интеграцију хијерархијских подсистема компанија која омогућава креирање флексибилних и реконфигурабилних производних система
- Интеграцију комплетног ланца вредности која омогућава подршку при прилагођавању производа потребама корисника

Увођење концепта Индустије 4.0 ће довести до одређених промена у организацији компанија због промене оперативних услова. Ове промене су изазване следећим трендовима (Lasi et al. 2014):

- Индивидуализација на захтев
- Флексибилност
- Децентрализација
- Кратак период развоја
- Ефикасност при употреби ресурса

Компаније која прате ове трендове би требале да буду оспособљене да производе кастомизоване производе у малим серијама на ефикасан и профитабилан начин. За овакве промене, неопходно је увођене и примена различитих технологија које омогућавају овакав вид производње. Управо зато су напредне технологије у фокусу Индустије 4.0, што се огледа у чињеници да се највећи број истраживања у овој области бави технолошким иновацијама, у компанијама (Droege, Hildebrand, and Forcada 2009).

Са техничког аспекта, Индустија 4.0 се може описати као тренд повећања дигитализације и аутоматизације производње, као и креирање дигиталних ланаца вредности са циљем омогућавања комуникације производа са окружењем. У том смислу, један од основних концепата Индустије 4.0 представља паметна фабрика (Lasi et al. 2014). Ипак, најновија истраживања која се односе на трендове увођења концепта Индустије 4.0 у производне компаније указују на потребу за дубљом анализом организационих иновација у компанијама, с обзиром да постоји комплементарност између различитих типова иновација (Psomas and Kafetzopoulos 2014). Недавно су организационе иновације, које подразумевају увођење различитих организационих концепата, препознате као важан извор конкурентске предности компанија на тржишту (Camisón and Villar-López 2014). Осим тога, организационе иновације су се показале као веома значајне за процес интеграције компанија, што је неопходно за увођење концепта Индустије 4.0 у производне компаније (Liao et al. 2017).

Концепт Индустије 4.0 је, између осталог, заснован на иновацијама процеса и организације рада (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013). Иновације процеса подразумевају примену нових или значајно унапређење постојећих метода производње и испоруке. То подразумева значајне измене у техникама, опреми и софтверу. Методе производње се односе на технике, опрему и софтвер који се користи приликом производње производа или

пружања услуге. Пример за методе производње би било увођење опреме за аутоматизацију процеса производње. Методе испоруке се односе на технике, опрему и софтвер који се користе приликом алоцирања ресурса у оквиру предузећа или финалне испоруке производа. Пример за методе испоруке би била примена РФИД технологије у производњи. Дакле, под појмом иновације процеса ће се у оквиру овог истраживања подразумевати увођење различитих технолошких концепата који доприносе унапређењу производних процеса. Организационе иновације подразумевају имплементацију нових организационих метода у пословању предузећа и организацији рада. Организационе иновације у пословању предузећа и организацији рада подразумевају примену нових метода у организовању рутина и процедура у пословним процесима. Пример организационе иновације у пословању предузећа и организацији рада би било увођење нових начина за унапређење стицања и дељења знања у оквиру предузећа. Под овим појмом се такође мисли и на нове могућности надоградње знања запослених кроз тренинге и обуку, као и увођење система менаџмента квалитетом и ланцима снабдевања (OECD 2007). Другим речима, организационе иновације ће се у оквиру овог истраживања посматрати из перспективе увођења организационих концепата у компаније, који доприносе унапређењу организације рада.

Из перспективе Индустије 4.0, компаније које припадају прерађивачком сектору би требале да обрате пажњу на организационе и технолошке аспекте пословања, како би се што пре прилагодиле савременим трендовима производње. Да би се ови трендови усвојили на најефикаснији и најпрофитабилнији начин, компаније би требало да буду у стању да препознају организационе и технолошке концепте који највише доприносе овој врсти производње. Такође, то треба учинити на начин који не занемарује организационе и технолошке концепте који нису оријентисани ка наведеним трендовима у производњи, јер то није једини могући начин задовољавања потреба корисника. Из тог разлога, на основу прегледа литературе, идентификовани су различити типови производње и карактеристике производа који би се могли користити за евалуацију организационих и технолошких концепата који се примењују у прерађивачком сектору (Koren et al. 2016; Lasi et al. 2014; H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013; Abraham, Vasant, and Bhattacharya 2008; Mediћ et al. 2019):

- Развој производа
 - Према спецификацији купца

- Стандардни асортиман којем се додају опције по жељи купаца
- Стандардни асортиман из којег купац бира
- Производња/монтажа
 - Производња финалног производа по наруџбини купца
 - Монтажа финалног производа по наруџбини купца
 - Производња готових производа за складиште
- Величина серије
 - Појединачна производња
 - Мала или средња серија
 - Велика серија
- Сложеност производа
 - Једноставан производ
 - Производ средњег степена сложености
 - Производ високог степена сложености

Предмет овог истраживања се огледа у идентификацији и евалуацији организационих и технолошких концепата који се примењују у прерађивачком сектору, са основном идејом да се утврди њихов допринос савременим трендовима производње, дефинисаним у оквиру концепта Индустије 4.0.

Такође, потребно је утврдити да ли постоји одређена веза између организационих и технолошких концепата за које се утврди да су од примарног значаја за компаније које имају тенденцију да прате савремене трендове у производњи.

2. Потреба за истраживањем

Истраживања у овој области су углавном усмерена на један вид иновативних активности и то са главним фокусом на техничке аспекте пословања (Camisón and Villar-López 2014). Промене у компанијама које нису техничке природе су препознате као важан фактор за унапређење конкурентске позиције, али истраживања на ову тему нису заступљена у довољној мери (Armbruster et al. 2008). Постоји одређен број истраживања која се баве односом организационих и технолошких концепата у компанијама у којима је истакнут значај организационих иновација у процесу технолошког развоја (Lokshin, Gils, and Bauer 2009). Поред тога, постоје тврдње да организационе иновације претходе технолошким иновацијама (Lam 2005), што је у сагласности са закључком да организационе иновације представљају обавезан предуслов

за увођење технолошких иновација (Armbruster et al. 2008). Истраживање спроведено у прерађивачком сектору у Великој Британији показало је да постоји позитиван утицај увођења организационих иновација на увођење технолошких иновација у компанијама (Dawson et al. 2010).

Из свега наведеног, јасно је да су истраживања организационих и технолошких иновација у компанијама веома важна за ову област. Оно што је препознато као недостатак у овим истраживањима је посматрање организационих и технолошких иновација у општем смислу. Другим речима, у њима не постоји анализа конкретних организационих и технолошких концепата и њиховог међусобног утицаја. Потреба за овим истраживањем се огледа управо у овој чињеници. Ово истраживање се надовезује на претходна истраживања у области кроз анализу и евалуацију специфичних организационих и технолошких концепата. Поред тога, анализе су доведене у контекст са Индустријом 4.0, која представља синоним за савремене трендове у производњи. На тај начин би се проширила постојећа литература у области и отвориле нове перспективе за имплементацију и употребу организационих и технолошких концепата у компанијама.

3. Циљ истраживања

Основни циљ истраживања је да се развије концептуални модел за евалуацију организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору, а након тога да се модел емпиријски примени са циљем утврђивања специфичних концепата који, посматрано из перспективе савремених производних трендова, имају највећи значај за компаније. Након тога, као додатни циљ, потребно је утврдити да ли постоји одређена веза између идентификованих кључних организационих и технолошких концепата. Другим речима, циљ је да се утврди да ли примена одговарајућих организационих концепата поспешује примену технолошких концепата.

У складу са наведеним предметом, потребама и циљем истраживања, уважавајући постојећу литературу и до сада постигнуте резултате у области истраживања, дефинисана су истраживачка питања које гласе:

1. Који организациони концепти највише доприносе савременим трендовима производње?
2. Који технолошки концепти највише доприносе савременим трендовима производње?

3. Да ли постоји одређена веза између организационих и технолошких концепата који највише доприносе савременим трендовима производње?

3.1. Хипотезе

У складу са наведеним предметом, потребама и циљем истраживања, са основном идејом давања одговора на постављена истраживачка питања, дефинисане су истраживачке хипотезе које гласе:

X1: Могуће је развити модел за евалуацију организационих и технолошких концепата у контексту повећања спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

X2: Примена организационих концепата има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

X2a: Организација производње има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

X2б: Управљање и контрола производње има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

X2ц: Управљање људским ресурсима има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

X3: Примена технолошких концепата има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

X3a: Примена дигиталних технологија има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

X3б: Примена технологија за аутоматизацију има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

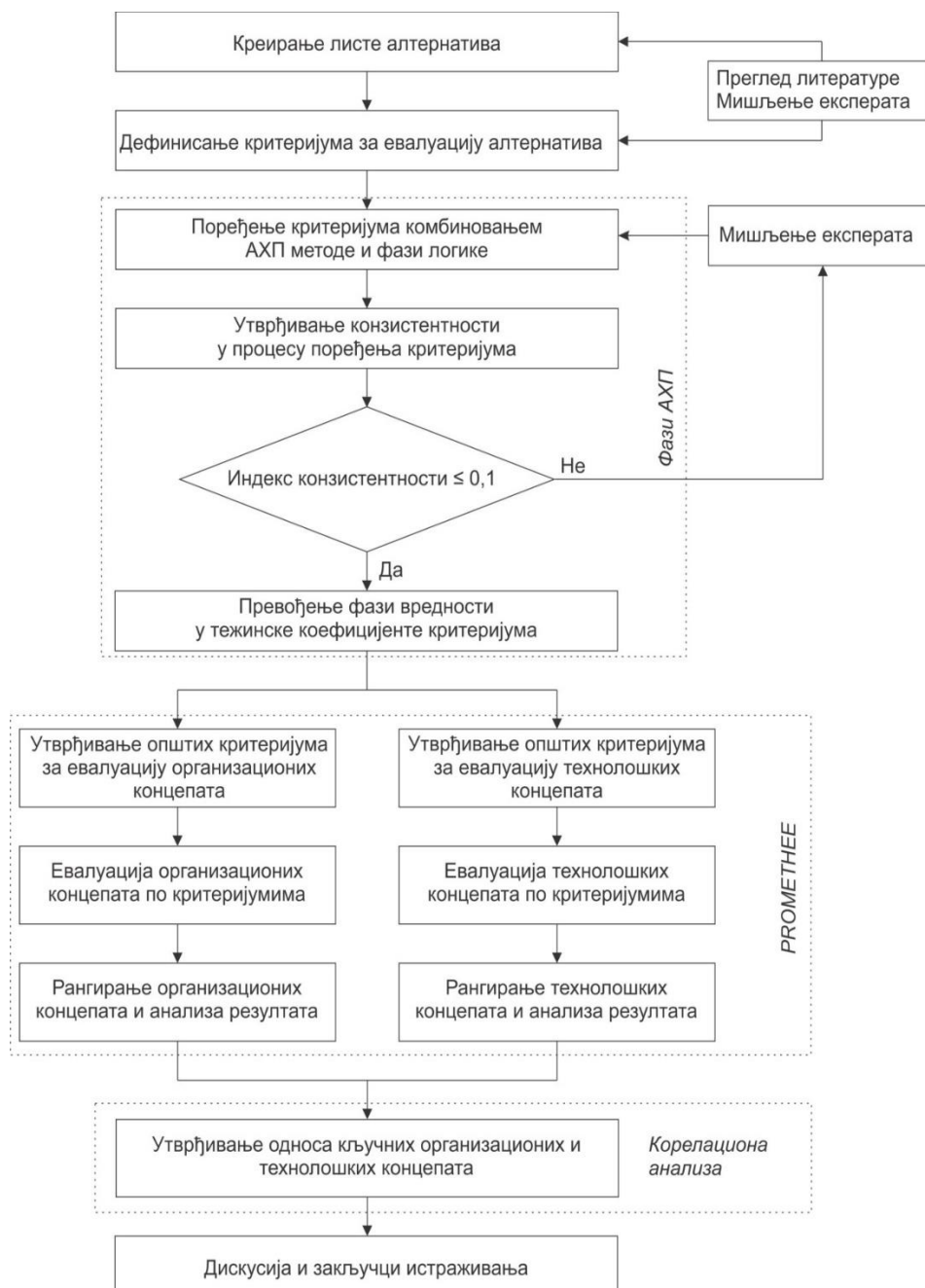
X3ц: Примена адитивних производних технологија има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

X3д: Примена технологија енергетске ефикасности има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

X4: Постоји позитивна корелација између увођења организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору

3.2. Истраживачки модел

На Слици 1 је дат предлог општег истраживачког модела, развијеног за сврху овог истраживања. Реализација корака предвиђених у истраживачком моделу би требала да одговори на постављена истраживачка питања, односно дефинисане истраживачке хипотезе.



Слика 1. Општи истраживачки модел

4. Структура дисертације

Дисертација је организована у осам поглавља која прате фазе истраживања и поређана су према хронолошком реду. У првом делу приказана су општа разматрања са нагласком на предмет, потребе и циљ истраживања. Други део дисертације се односи на теоријске подлоге, укључујући и преглед литературе, неопходне за извођење и реализацију истраживања. У трећем делу, који се односи на истраживачки део, представљена је методологија истраживања и начин прикупљања података. У четвртном делу су приказани резултати истраживања. Пети део представља дискусију и анализу резултата. Шести део је посвећен закључним разматрањима и предлозима праваца за даља истраживања. На самом крају дисертације наведена је литература која је коришћена за потребе истраживања, као и прилог у ком су представљени елементи значајни за истраживање који нису укључени у основни текст дисертације.

II. ТЕОРИЈСКЕ ПОДЛОГЕ

5. Основне карактеристике Индустирије 4.0

Када посматрамо прерађивачки сектор, можемо уочити да напредак науке и технологије континуирано подржава развој индустријализације широм света (Belvedere, Grando, and Bielli 2013). Од самих почетака индустријализације, технолошка унапређења су доводила до промене паридигми, познатих и као индустријске револуције (Lasi et al. 2014). На Слици 2 је дат преглед индустријских револуција и основних промена у производним системима које су до њих довеле.



Слика 2. Преглед индустријских револуција (Vogojević et al. 2018)

Прве три индустријске револуције трајале су око два века (Drath and Horch 2014):

- Прва индустријска револуција је настала као резултат увођења механичких производних погона који су за рад користили снагу воде и водене паре
- Друга индустријска револуција је настала као резултат употребе електричне енергије и примене технологија за масовну производњу

- Трећа индустријска револуција је настала као резултат употребе информационих технологија за подршку аутоматизацији производње

У последњих неколико година, истраживања су у значајној мери усмерена на примену напредних технологија у прерађивачком сектору, као што су интернет ствари (Atzori, Iera, and Morabito 2010) и сајбер-физички системи (Khaitan and McCalley 2015). Користи од примене напредних технологија се огледају у могућности повезивања елемената као што су материјали, сензори, машине, производи, ланци снабдевања и купци, што даље обезбеђује њихово независно и аутономно међусобно размењивање информација и контролисање активности (Qin, Liu, and Grosvenor 2016). Ова нова паридгма у производњи се сматра четвртом индустријском револуцијом, такође познатом и под термином Индустрија 4.0, која подразумева кастомизацију производа, значајну флексибилност у производњи уз укључивање корисника, добављача и других заинтересованих страна у производни процес (Thoben, Wiesner, and Wuest 2017).

Индустријске револуције захтевају дуготрајан период развоја и покривају следећа четири аспекта, која се сматрају будућношћу производње:

Компанија. Као једна од главних компоненти Индустрије 4.0, фабрика будућности ће укључити нови степен интеграције, где неће само производни ресурси (сензори, актуатори, машине, роботи, транспортери, итд.) бити повезани и аутоматски размењивати информације, него ће и сама компанија постати довољно интелигентна да одржава машине, контролише производне процесе и управља комплетним системом. Поред тога, многим производним процесима, као што су пројектовање производа, планирање производње, производња и пружање услуга, се неће управљати децентрализовано, већ ће бити међусобно повезани и контролисани (Lucke, Constantinescu, and Westkämper 2008).

Бизнис. Индустрија 4.0 подразумева да постоји комуникациона мрежа између различитих компанија, фабрика, добављача, логистичке подршке, ресурса и купаца. Сваки од ових сегмената се оптимизује у реалном времену у зависности од захтева и статуса повезаних елемената у мрежи, што омогућава максималан профит уз употребу ограничених ресурса. Оваква комуникација у реалном времену обезбеђује смањење трошкова, загађења, употребе материјала, емисије угљен-диоксида, итд. (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013).

Производи. Корист од Индустрије 4.0 се огледа и у развоју нове врсте паметних производа. Ови производи имају уграђене сензоре, компоненте које се лако могу идентификовати и процесоре који носе информације и упутства за употребу за купце. Такође, паметни производи преносе повратне информације о начину употребе самог производа у производни систем. На основу ових информација се производима могу додавати различите нове функције. Поред тога, на овај начин се унапређује процес оптимизације, пројектовања и одржавања производа (Frouin 2013).

Корисници. Корисници ће такође осетити значајна унапређења у оквиру Индустрије 4.0. Индустрија 4.0 омогућава корисницима да наручују производе са функцијама какве лично преферирају, чак и у случајевима када је производ потребно произвести у појединачној серији. Поред тога, корисници су у могућности да изврше измену своје наруџбине у било којој фази производње без икаквих додатних трошкова. Паметни производи омогућавају кориснику да има увид у све информације о производњи производа, као и да добије неопходне савете о употреби производа (Schlechtendahl et al. 2015).

У складу са новим трендовима у производњи, владе држава и компаније широм света улажу значајне напоре да на најбољи могући начин искористе овај нови талас индустријске револуције (Siemieniuch, Sinclair, and Henshaw 2015). У складу са тим, у наставку ће бити представљене иницијативе везане за Индустрију 4.0 које су покренуте на интернационалном нивоу. Поред тога, у овом поглављу ће бити објашњене кључне технологије које омогућавају четврту индустријску револуцију, приоритетне области везане за Индустрију 4.0, као и перцепција концепта Индустрије 4.0 из перспективе прерађивачког сектора у земљама у развоју.

5.1. Интернационалне иницијативе у контексту Индустрије 4.0

Ово поглавље даје преглед главних иницијатива и пројеката широм света у контексту Индустрије 4.0.

5.1.1. Иницијативе у Европској унији

Немачка влада је 2012. године усвојила акциони план „*High-Tech Strategy 2020*“, на основу ког се годишње издвајају милијарде евра за развој напредних технологија. Један од пројеката у оквиру овог плана представља и Индустрија 4.0 којом су истакнуте немачке амбиције у прерађивачком сектору. Немачка је

2013. године покренула иницијативу Индустрија 4.0, која се односи на четврту индустријску револуцију у којој увођење интелигентних машина и производа у прерађивачки сектор доприноси развоју интелигентних система и мрежа који су у стању да међусобно комуницирају (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013). У оквиру Индустрије 4.0, интелигентни производни системи су у стању да генеришу огромне количине података у реалном времену. Такви подаци су од суштинског значаја за реализацију интелигентних анализа и одлучивања како би се стандардан вид производње трансформисао у интелигентну производњу. Циљ Индустрије 4.0 је стварање паметне, односно интелигентне фабрике кроз максимално искоришћење напредних производних технологија. На пример, интеграција различитих сензора са прецизном контролом процеса ће омогућити машинама за производњу да у реалном времену добијају неопходне информације о производном процесу и да у складу са тим реализују одговарајуће активности. За управљање производњом користи се низ технологија, попут интернета ствари или рачунарства у облаку. Ове технологије омогућавају физичкој опреми пријем информација, мрежну комуникацију, прецизну контролу и даљинску координацију (Zhong et al. 2014).

У исто време када је покренута немачка иницијатива Индустрија 4.0, Европска унија је покренула свој највећи програм икада у области истраживања и иновација, који је финансиран кроз програм Хоризон 2020, са готово 80 милијарди еура на располагању током седам година (2014–2020) (Brussels: European Commission). У оквиру овог програма, представљен је нови модел за јавно-приватна партнерства у области развоја фабрика будућности. На овај начин је постављен вишегодишњи план који има за циљ увођење напредних технологија у производне системе, које ће бити чисте, еколошки прихватљиве и друштвено одрживе. Ови приоритети договорени су у оквиру заједнице интересних група широм Европе, након опсежних јавних консултација (Zhong et al. 2017).

Француска влада је 2013. године покренула стратегију под називом „*La Nouvelle France Industrielle*“, у којој су 34 иницијативе дефинисане као приоритети француске индустријске политике (Liao et al. 2017).

Влада Велике Британије је 2013. године представила дугорочни план за прерађивачки сектор до 2050. године под називом „*Future of Manufacturing*“. Циљ овог дугорочног плана је да промени фокус политике ради обезбеђивања

подршке прерађивачком сектору у Великој Британији током наредних деценија (GOS-Foresight 2013).

5.1.2. Иницијатива у Сједињеним Америчким Државама

Од 2011. године влада Сједињених Америчких Држава (САД) започела је низ активности на националном нивоу које укључују дискусије, акције и препоруке, под називом „*Advanced Manufacturing Partnership*“, како би се осигурало да САД спремно дочекају нове трендове у производњи (Reif, Shirley, and Liveris 2014).

Године 2012. компанија Џенерал електрикс је представила концепт индустријског интернета ствари, сугеришући да су интелигентне машине, напредна аналитика и повезаност између људи кључни елементи будуће производње, како би се омогућило интелигентније доношење одлука. Три главне компоненте индустријског интернета ствари су интелигентна опрема, интелигентни системи и интелигентно одлучивање (Annunziata and Evans 2012).

Индустријски интернет ствари подразумева проток података, хардвера, софтвера и интелигенције која омогућава њихову интеракцију кроз складиштење, анализу и визуелизацију података прикупљених помоћу интелигентних машина и мрежа које подржавају интелигентно одлучивање (Qiu et al. 2015). Максимални потенцијал индустријског интернета ствари биће остварен свеобухватним интегрисањем његових компоненти: интелигентне опреме, интелигентних система и интелигентног одлучивања. Кроз умреженост машина, материјала, радника и система, индустријски интернет ствари ће омогућити настанак паметних фабрика у оквиру концепта Индустрије 4.0. Акцент у САД претежно је на информационо-технолошким аспектима највишег нивоа, као што су рачунарство у облаку, анализа велике количине података и виртуелна реалност (Posada et al. 2015).

5.1.3. Иницијатива у Кини

Кинеска влада је развила стратегију „*Made in China 2025*“ упоредо са планом Интернет+ 2015. године, како би одржала корак са европском и америчком индустријом. Ова стратегија указује на приоритетна поља у прерађивачком сектору за убрзање увођења информационих технологија и индустријализације у Кини која се односе на (Gatti and Richter 2019):

- Повећање иновативне способности у производњи

- Промовисање повезивања информатике и индустријализације
- Ојачавање базних индустријских капацитета
- Подстицање повезивања кинеских брендова са квалитетом
- Промовисање еколошки прихватљиве производње
- Омогућавање пробоја у кључне секторе
- Подстицање даљег реструктурирања прерађивачког сектора
- Унапређење услужно оријентисане производње и понуде услуга везаних за производе
- Интернационализацију производње

Производња у облаку (*енг. Cloud manufacturing*) која представља први покушај новог облика интелигентне производње је предложен у Кини (M. L. Wang et al. 2012). Поред тога, и у другим областима интелигентне производње, као што је примена индустријских робота, интелигентних алата и адитивних технологија, Кина је дала значајан допринос. Развојем интелигентног прерађивачког сектора у Кини, мрежна инфраструктура је достигла виши ниво и постигнут је значајан напредак у рачунарству високих перформанси, квалитету опреме за мрежну комуникацију, као и интелигентним терминалима и софтверу, што је омогућило формирање бројних компанија које подржавају развој интелигентне производње (Posada et al. 2015).

5.1.4. Иницијативе у осталим земљама

Јапанска влада је 2015. године усвојила Пети основни план науке и технологије, где је посебна пажња посвећена прерађивачком сектору и реализацији иницијативе „*Super Smart Society*“ (Liao et al. 2017).

Влада Јужне Кореје је 2014. године објавила иницијативу под називом „*Innovation in Manufacturing 3.0*“ која наглашава четири кључне стратегије за развој корејске производње (Kang et al. 2016).

Сингапурска влада је за иницијативу „*Research, Innovation and Enterprise 2020*“ издвојила 19 милијарди долара у 2016. години. У оквиру ове иницијативе идентификовано је осам кључних праваца у индустрији у домену напредног инжењерства и производње (Liao et al. 2017).

5.2. Технологије које омогућавају примену концепта Индустрије 4.0

Индустрија 4.0 подразумева трансформацију производних система која је заснована на напредним технологијама представљеним на Слици 3.



Слика 3. Напредне технологије које омогућавају трансформацију индустријске производње (Rüßmann et al. 2015)

Ова трансформација, као што је претходно наведено, подразумева да сензори, машине, радни делови и информациони системи буду повезани дуж целог ланца вредности изван једне компаније. Овако међусобно повезани системи су у могућности да комуницирају користећи стандардне интернет протоколе и анализирају податке за предвиђање отказа система, конфигурацију параметара система и прилагођавање променама. Индустрија 4.0 омогућава прикупљање и анализу података, што доприноси бржем, флексибилнијем и ефикаснијем управљању процесима производње вишег степена квалитета уз снижене трошкове. Овакав приступ производњи повећава њену продуктивност, подстиче индустријски раст и модификује профил радне снаге, што као крајњи

циљ доприноси унапређењу конкурентности компанија као и региона у којима оне послују. Напредне технологије који чине основу Индустрије 4.0 већ се користе у производњи, али примена овог концепта омогућава трансформацију производње. На овај начин, изоловане, оптимизоване јединице могу да функционишу као потпуно интегрисан, аутоматизован и оптимизован производни систем, што доводи до веће ефикасности и промене традиционалних односа између добављача, произвођача и купаца, као и промене у интеракцији између човека и машине (Rüßmann et al. 2015).

5.2.1. Интернет ствари

Интернет ствари (*енг. Internet of Things*) представља интеграцију сензора и рачунара путем бежичне комуникације као што је приказано на Слици 4 (Xia F et al. 2018). Овакав вид интеграције подразумева да су различитим објектима уграђени електронски сензори, актуатори или други дигитални уређаји ради њиховог умрежавања и повезивања у сврху прикупљања и размене података (Xia F et al. 2018). Интернет ствари у различитим индустријама омогућава контролу и аутоматизацију осветљења, грејања, машинске обраде и даљинског надзора. Интернет ствари представља везу између различитих напредних технологија као што су бежични стандарди, анализа података и машинско учење (Xu, He, and Li 2014). То значи да ће управо ова технологија утицати на велики број области с обзиром да се прожима кроз сваки аспект наших живота.



Слика 4. Интернет ствари (“Internet of Things” 2019)

РФИД технологија је управо један од тих примера. Према истраживањима, скоро 20,8 милијарди уређаја ће бити повезано и користити РФИД технологију до 2020. године (Lund et al. 2014). Такав помак ће утицати на комплетну индустрију, а посебно прерађивачки сектор. РФИД технологија се користи за идентификацију различитих објеката у складиштима, производним погонима, логистичким компанијама, дистрибутивним центрима и малопродаји (Y. M. Wang, Wang, and Yang 2010). Након идентификације, такви објекти имају способност међусобног повезивања и комуникације, која може створити огромну количину података везану за њихово кретање или понашање. Међусобна повезаност паметних објеката је унапред дефинисана кроз одређене апликације или логику, попут производних поступака, које објекат прати након опремања РФИД читачима и таговима (Guo et al. 2015). РФИД уређаји осим што пружају подршку корисницима да реализују своје свакодневне операције, такође снимају податке који се односе на те операције тако да је омогућено управљање производњом у реалном времену.

5.2.2. Сајбер-физички системи и сајбер безбедност

Сајбер-физички систем (*енг. Cyber-Physical System*) је механизам кроз који су физички објекти и софтвер уско повезани, омогућујући различитим компонентама међусобну интеракцију са сврхом размене информација (Lee 2008). Сајбер-физички системи су засновани на мрежним интеракцијама које су дизајниране и развијене са физичким улазом и излазом, заједно са сајбер сервисима, као што су алгоритми контроле и рачунарски капацитети. Дакле, велики број сензора игра важну улогу код сајбер-физичких система. Уређаји са великим бројем сензора, као што су екрани на додир, сензори светлости и сензори силе се користе у сајбер-физичким системима за постизање различитих сврха. Ипак, интегрисање неколико различитих подсистема захтева много времена и улагања, а цео систем мора бити оперативан и функционалан. Као резултат хетерогености и сложености коришћења сајбер-физичких система појавили су се одређени изазови у развоју и дизајнирању високопоузданих и сигурних система (Selić and Gérard 2014).

Сваке године уређаји се све више повезују путем интернета. Због тога, примена интернета ствари, коришћење виртуелног окружења, даљински приступ и складиштење података у облацима проузрокује све већу рањивост система из угла компромитованости информација које се у њему налазе. У оваквом окружењу ризици везани за откривање информација су веома реални

јер су границе компаније нејасне (He et al. 2016). Сајбер безбедност (*енг. Cybersecurity*) представља висок ниво информатичке сигурности, са нагласком на индустријско окружење и коришћење интернета ствари у оквиру њега. Сајбер безбедност је технологија која штити, открива и реагује на нападе везане за заштиту информација (Piedrahita et al. 2018). Интернет ствари мора бити заснован на безбедној комуникацији у свакој тачки производног процеса, а између објеката мора бити обезбеђена безбедносна интероперабилност. Технологије које се користе у оквиру Индустрије 4.0 морају омогућити стварање сигурног сајбер окружења.

5.2.3. Рачунарство у облаку

Рачунарство у облаку (*енг. Cloud Computing*) је општи појам који се односи на пружање рачунарских услуга путем визуелизованих и скалабилних ресурса путем интернета (Xun 2012). Скалабилност ресурса чини рачунарство у облаку занимљивим за власнике компанија, јер им омогућава да започну са малим инвестицијама, а да инвестирају у више ресурса само ако постоји пораст у даљој потражњи за услугама (Aguilar et al. 2010). Примена овог концепта пружа предности као што је смањење различитих трошкова (нпр. рационализација употребе информационе инфраструктуре у компанији, коришћење само оних ресурса који су неопходни, приступ ресурсима са мобилних уређаја са било које локације на свету) (Branco, De Sá-Soares, and Rivero 2017). Приступ подацима смештеним на овај начин може бити јавни, приватни или хибридни који комбинује јавни и приватни приступ (Alqayouti and Siyam 2018). Идеалан облак треба да има пет карактеристика: самоуслуживање на захтев, широк приступ мрежи, удруживање ресурса, брза еластичност и стабилна услуга. Компаније се одлучују за примену рачунарства у облаку како би унапредиле своје капацитете уз минималан буџет и без улагања у лиценце за нове софтвере, уградњу нове инфраструктуре или обуку новог особља (Saxena and Pushkar 2016).

5.2.4. Анализа велике количине података

Велика количина структурираних, полуструктурираних и неструктурираних података различитих типова се може генерисати из међусобно повезаних хетерогених објеката. За анализу оволике количине података, како би се из њих добила одговарајућа вредност, потребно је превише времена и новца (Qi and Тао 2018). Прикупљање и складиштење велике количине података без квалитетне анализе нема велику вредност (Babiceanu and Seker 2016).

Повезивањем већег броја уређаја путем интернета и коришћењем напредних технологија могуће је ово постићи на много ефикаснији начин (Слика 5).



Слика 5. Анализа велике количине података (“Big Data” 2019)

Анализа велике количине података се сматра једном од кључних технологија за имплементацију концепта Индустије 4.0, јер интелигенција система зависи управо од велике количине прикупљених података и капацитета за њихову анализу применом напредних технологија (Frank, Dalenogare, and Ayala 2019). Комбинација прикупљања велике количине података и њихова квалитетна анализа могу подржати самосталну организацију производних линија и оптимизовати процес доношења одлука у реалном времену у свим димензијама пословања. Адекватна употреба велике количине података пружа предност кроз могућност генерисања додатне вредности (Cheng et al. 2018). Анализа велике количине података је појам који описује велике количине, брзих, сложених и променљивих података који захтевају напредне технологије како би се омогућило прикупљање, складиштење, дистрибуција, управљање и анализа информација. Анализа велике количине података има кључну улогу у примени дигиталних технологија у прерађивачком сектору (D. Mourtzis, Vlachou, and Milas 2016).

5.2.5. Симулације

Симулација је технологија која се користи за боље разумевање динамике пословних система и представља неопходан и моћан алат за дигитализацију производње (Rodić 2017). Актуелни изазови прерађивачког сектора, везани за сложеност система која са собом носи и одређену неизвесност, који се не могу

решити коришћењем стандардних математичких модела могу се решавати применом симулације. Симулација омогућава експерименте за валидацију производа, процеса, пројектовања и конфигурације система (D. Mourtzis, Doukas, and Bernidaki 2014). Симулација и моделовање имају позитиван утицај на смањење трошкова, развојних циклуса и повећање квалитета производа. Поред тога, компаније користе симулацију и моделовање за анализу пословања и као подршку у процесу доношења одлука. Симулација помаже у бољој процени и разумевању система или процеса кроз анализу његовог понашања (Rodič 2017). Симулација омогућава стицање увида у сложене системе кроз развој сложених и прилагодљивих производа и омогућава тестирање нових концепата, употребе ресурса и начина рада пре стварне примене, прикупљајући информације и знања пре имплементације у стварном систему. На овај начин могуће је испробати различите сценарије, у кратком временском року и са минималним трошковима (Dimitris Mourtzis et al. 2015).

5.2.6. Виртуелна реалност и проширена реалност

У овој области се могу разликовати три кључне технологије: виртуелна реалност, проширена реалност и мешовита реалност. Виртуелна реалност генерише виртуелне сценарије у којима корисници могу комуницирати с виртуелним елементима. Проширена реалност се односи на рад у стварним сценаријима, допуњавајући одређене информације помоћу виртуелних елемената и омогућавајући интеракцију са тим елементима. Мешовита реалност је мешавина виртуелне реалности и проширене реалности која комбинује виртуелни и стварни свет и омогућава виртуелну и стварну интеракцију (Roldán et al. 2017).

Примена виртуелне реалности унапређује перцепцију и знање оператера. Виртуелна реалност значајно повећава свест оператера о ситуацијама у којима се налази, без повећања радног оптерећења. Такође, потенцијал виртуелне реалности се огледа у могућностима за колаборативно пројектовање и представљање објеката, виртуелну производњу и тестирање производа, као и развоју и валидацији сложених производа (Abdul Kadir, Xu, and Hämmerle 2011). Виртуелна реалност се користи и за подршку оператерима у контроли робота при састављању и руковању микро уређајима као и у обуци оператера у поступку заваривања (Mavrikios et al. 2006).

Основни циљ употребе проширене реалности је обезбеђивање потребних информација за реализацију одређеног задатка. Проширена реалност

комбинује дигитално обрађену реалност и дигитално додате вештачке објекте. Технологија проширене реалности се примењује у различитим сегментима прерађивачког сектора. Употреба проширене реалности у производним процесима који се тичу симулације, пружања подршке и давања упутстава показала се као ефикасна технологија која помаже у решавању проблема. Проширена реалност унапређује перцепцију оператера коришћењем вештачки убачених информација о стварним објектима који се налазе у његовом окружењу (Syberfeldt et al. 2015). Коришћење проширене реалности може помоћи у решавању одређених раскорака који могу настати између развоја производа и производних операција због могућности да се у исто време користе дигиталне информације и знање као подршка процесу састављања производа. Одржавање система представља једно од најперспективнијих подручја примене проширене реалности. Извршавање задатака техничког одржавања, као и подршка у процесима одлучивања везаним за одржавање система је значајно олакшано употребом проширене реалности (Palmarini et al. 2018).

5.2.7. Адитивне производне технологије

За иновације производа и услуга потребно је уложити велику количину напора и времена у истраживање и развој које Индустрија 4.0 помоћу нових технологија попут симулација или виртуелне реалности омогућава. Међутим, већ у следећем кораку након развоја следи процес производње са свим својим трошковима који могу бити препрека конкурентности. Осим тога, овај процес подразумева одређено одлагање времена за пласирање производа или услуге на тржиште. Парадигма адитивне производње се све више развија, захваљујући чему је примена ових технологија у индустријским системима све реалнија опција (Kim, Lin, and Tseng 2018). У складу са тим, све чешће се говори о могућности замене стандардних производних процеса применом адитивних производних технологија. Под овим појмом се подразумевају технологије које пружају подршку при креирању нових производа, нових пословних модела и нових ланаца снабдевања. Скуп технологија које омогућавају 3Д штампу физичких објеката се заједнички називају адитивне производне технологије (Hannibal and Knight 2018). Применом ових технологија се појединачни производи могу произвести без уобичајених вишкова, што представља велику предност у поређењу са стандардним производним процесом. Адитивна производња је позната и под другим терминима као што су брза израда прототипа, производња у слојевима, дигитална производња или 3Д штампа. Помоћу адитивне производње могуће је креирати прототипе који

обезбеђују независност елемената у ланцу вредности, на основу чега се скраћује време за пројектовање и производњу (Chong, Ramakrishna, and Singh 2018).

5.2.8. Хоризонтална и вертикална интеграција система

Сви елементи производног система (производња, маркетинг, добављачи, ланац снабдевања), би требали да се интегришу и омогуће међусобну сарадњу, у складу са протоком информација и узимајући у обзир степен аутоматизације система. Генерално, интеграција система из перспективе Индустрије 4.0 може бити хоризонтална или вертикална (Suri et al. 2017). Ова два типа интеграција омогућавају дељење података у реалном времену (Salkin et al. 2018).

Хоризонтална интеграција подразумева интеграцију између компанија и представља основу за блиску сарадњу на високом нивоу између неколико компанија, користећи информационе системе како би се унапредио животни циклус производа стварајући међусобно повезани екосистем. Како би се постигла интероперабилност у развоју ових система, неопходна је независна платформа заснована на индустријским стандардима, која омогућава размену података или информација (Suri et al. 2017).

Вертикална интеграција подразумева повезивање различитих нивоа хијерархије у оквиру једне компаније, и представља основу за размену информација и сарадњу између различитих нивоа хијерархије компаније, попут корпоративног планирања, планирања производње или управљања. Вертикална интеграција омогућава дигитализацију свих процеса у компанији, узимајући у обзир све податке из производних процеса које су доступне у реалном времену. На овај начин се повећава флексибилност система која пружа могућност за производњу кастомизованих производа у малим или чак појединачним серијама (Salkin et al. 2018).

Поред хоризонталне и вертикалне интеграције у оквиру Индустрије 4.0 је дефинисан још један вид интеграције који узима у обзир целокупни животни циклус производа. Ова врста интеграције заснована је на вертикалној и хоризонталној интеграцији и има за циљ повезивање свих елемената у ланцу вредности, почев од пројектовања производа, преко саме производње, па све до укључивања купаца у цео процес (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013).

5.2.9. Аутономни работи

Производња се рапидно помера од масовне производње ка кастомизованим производима, што често захтева реконфигурабилне технологије аутоматизације за које се користе работи. Овакав приступ производњи доводи до могућности укључивања ширег спектра производа у асортиман са тежњом да се производња реализује у појединачним серијама. Употреба робота представља један од кључних елемената како би се достигао овако висок степен флексибилности производних система. Способности комуникације, контроле и аутономије се постижу комбиновањем микропроцесора и вештачке интелигенције са производима, услугама и опремом како би постали паметнији. Роботи са вештачком интелигенцијом, који су прилагодљиви и флексибилни, могу олакшати производњу различитих производа, што за последицу има смањене трошкове производње. Овакви работи су веома корисни за примену у фазама развоја, израде и састављања производа. Важно је напоменути да потпуно аутономни работи доносе самостално одлуке да извршавају одређене операције у променљивом окружењу без учешће оператера (Pedersen et al. 2016).

Такође, значајно је споменути и концепт колаборативних робота који омогућавају да људи и работи раде у непосредној близини. Колаборативни работи су тако пројектовани да је могућа њихова директна физичка интеракција са људима, што значи да работи и људи могу блиско да сарађују. На овај начин се руше баријере између људи и робота, што компанијама обезбеђује већу приступачност и флексибилност решења (El Makrini et al. 2018).

5.3. Приоритетне области

Индустрија 4.0 је сложена иницијатива која обухвата неколико области које се делимично преклапају. Октобра 2012. године, радна група за Индустрију 4.0 објавила је свеобухватни документ у ком су представљене средњорочне и дугорочне препоруке за истраживање у овој области. У овом поглављу су приказана кључна приоритетна подручја за која се сматра да је неопходно дефинисати конкретне индустријске политике и пословне одлуке како би се препоруке спровеле у дело (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013).

5.3.1. Стандарди за архитектуру система

Како би се у оквиру Индустрије 4.0 омогућило умрежавање и интеграција компанија, потребно је развити одговарајуће стандарде. Неопходно је да

стандардизација обухвати утврђивање механизма сарадње и информација које ће се размењивати. Комплетан технички опис и примена ових одредби назива се референтном архитектуром (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013).

Референтна архитектура је, дакле, општи модел који се односи на производе и услуге свих партнерских компанија. Она омогућава оквир за структурирање, развој, интеграцију и рад технолошких система релевантних за Индустрију 4.0. Будући да се у оквиру Индустрије 4.0 умрежава више различитих компанија које имају различите пословне моделе, улога референтне архитектуре је да се они интегришу у јединствени, заједнички приступ. У наставку су представљене различите перспективе које би требало интегрисати у референтну архитектуру (Takahashi, Ogata, and Nonaka 2018):

- Перспектива мрежних уређаја у производном систему, као што су уређаји за аутоматизацију, програмибилни логички контролери, оперативни уређаји, мобилни уређаји, сервери, радне станице, уређаји за приступ интернету
- Перспектива употребе различитих софтверских решења у оквиру компаније, попут прикупљања података путем сензора, контроле процеса, података, обраде оперативних, машинских и процесних података, архивирања података, анализе трендова, планирања и оптимизације функција
- Перспектива употребе различитих софтверских решења које компаније користе за пословно планирање и управљање, као и за логистичку подршку, укључујући интеграцију са окружењем
- Перспектива комплетног производног процеса, пре свега у смислу обраде и транспорта
- Инжењерска перспектива у производном систему која подразумева коришћење података добијених из производног процеса за планирање потребних ресурса, оптимизацију машина у погледу њихових механичких, електричних и аутоматизационих карактеристика, притом узимајући у обзир рад и одржавање система.

5.3.2. Управљање комплексним системима

Производи као и комплетни производни системи постају све сложенији. То је резултат повећања функционалности, све присутнијег прилагођавања производа крајњим корисницима, динамичнијих потреба испоруке, све веће

интеграције различитих техничких дисциплина и организација и променљивих облика сарадње између различитих компанија.

Моделовање може значајно допринети управљању системима вишег степена сложености. Модели представљају приказ стварног или хипотетичког сценарија који укључује само оне аспекте који су релевантни за проблем које се решава. Употреба модела представља важну стратегију у дигиталном свету и од великог је значаја у контексту Индустрије 4.0. Постоје две основне врсте модела које можемо разликовати (Browning et al. 2015):

- Модели за планирање који омогућавају изградњу сложених система
- Модели за описивање постојећих системе у циљу стицања знања о систему кроз модел

Дигитализација значајно утиче на стварни свет кроз моделе за планирање комплексних система, док стварни свет утиче на дигитализацију кроз моделе за описивање комплексних система. Чињеница да модели обично садрже формализоване описе система подразумева да их рачунар може обрадити, што омогућава рачунару да преузме рутинске инжењерске задатке као што је обављање одређених прорачуна или других стандардних, односно рутинских послова. Једна од предности модела је, дакле, да омогућавају аутоматизацију мануелних активности и реализацију тих активности које су се претходно обављале у стварном свету, у дигиталном свету (Browning et al. 2015).

5.3.3. Дефинисање индустријске инфраструктуре

Ако сајбер-физички системи постану масовно распрострањени у прерађивачком сектору, онда је генерално потребно изградити инфраструктуру која ће омогућити размену података већег обима и бољег квалитета него што то пружају тренутне комуникацијске мреже. У том смислу, један од кључних захтева за Индустрију 4.0 је унапређење постојећих комуникационих мрежа како би се обезбедила поузданост, квалитет услуге и универзално доступна пропусност велике количине података. Општи захтеви за ефикасном инфраструктуром широког опсега која је доступна великом броју корисника су једноставност, скалабилност, сигурност, доступност и приступачна цена (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013).

5.3.4. Безбедност на раду и сигурност система

Безбедност на раду и сигурност система су два веома важна аспекта везана за производна постројења и производе који се у њима производе. С једне стране, безбедност на раду се односи на смањење или неутралисање опасност за људе и животну средину, док с друге стране сигурност система треба да обезбеди заштиту од неадекватне употребе или злоупотребе података и знања која се налазе у оквиру производних постројења или у самим производима. За разлику од сигурности система, питања безбедности на раду се већ дуги низ година узимају у разматрање приликом пројектовања производних погона. У последње време, са појавом информационих технологија, све већи значај се придаје обезбеђивању сигурности система у производном окружењу. Веома често је потребно доста времена да се уведу сигурносне мере које притом представљају само делимична решења проблема. Додатно, појавом Индустрије 4.0 поставља се низ додатних сигурносних захтева. За адекватну примену концепта Индустрије 4.0 предлажу се следеће мере (Kloibhofer, Kristen, and Jakšić 2018):

- Сигурносне карактеристике система је неопходно интегрисати већ у самој фази пројектовања система
- Стратегија, архитектура и стандарди информационе безбедности морају се развити на квалитетан начин и у складу са тим имплементирати, како би се обезбедио висок степен поверљивости, интегритета и доступности у интеракцији умрежених, отворених и хетерогених елемената система.

5.3.5. Организација рада

Напори у области иновација не могу се фокусирати искључиво на превазилажење технолошких изазова. Област иновација мора се проширити тако да укључује и унапређења у погледу организације рада и вештина запослених, јер ће управо запослени имати кључну улогу у увођењу и прилагођавању напредних технологија у производним системима. Извесно је да ће се улога запослених значајно променити услед увођења виртуелних платформи и све присутније интеракција између људи и машина и људи и целокупног система. Радне активности, процеси и окружење ће се значајно трансформисати на начин који ће имати утицаја на флексибилност, регулисање радног времена, здравствену негу, демографске промене и приватни живот људи. Све ово је неопходно како би се постигла успешна интеграција

напредних технологија у производне системе (Н. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013).

Врло је вероватно да ће радне активности у оквиру Индустрије 4.0 подразумевати постављање све већих захтева за запослене у погледу управљања сложеним и апстрактним системима, као и решавања комплексних проблема. Од запослених ће се такође очекивати да све више преузимају иницијативу и да поседују одличне комуникационе вештине и способност организације сопственог рада. Другим речима, у контексту Индустрије 4.0 много већи акценат ће бити на личним вештинама и потенцијалу запослених. То значи да ће радно окружење бити далеко занимљивије и омогућиће запосленима већу аутономију и могућност за лични развој (Fantini, Pinzone, and Taisch 2018).

5.3.6. Тренинг и континуирано професионално усавршавање

Примена концепта Индустрије 4.0 требало би да резултира унапређењем организације рада и техничких перформанси компанија. Овакав приступ пословању ће представљати нове изазове за стручно и академско образовање и за континуиран професионални развој. Индустрија 4.0 ће значајно трансформисати начин рада из следећа два разлога. Прво, традиционални производни процеси које карактерише врло јасна подела рада сада ће бити интегрисани у нову организациону структуру где ће бити допуњени функцијама доношења одлука, координације и контроле. Друго, биће потребно организовати и координисати интеракцију између виртуелних и стварних машина, система за управљање постројењима и система за управљање производњом. Индустрија 4.0 ће из тог разлога захтевати фундаменталне промене у обуци ИТ стручњака. Изузетно широк спектар потенцијалних активности у сложеним системима значи да постоји ограничење онога што се може постићи стандардизованим програмима обуке. Због тога ће партнерства за обуку између компанија и високошколских институција бити у будућности још важнија него што су данас (Longo, Nicoletti, and Padovano 2017).

Настанак нових креативних области пословања, попут интердисциплинарног развоја производа и процеса, захтеваће потпуно нове квалификације запослених. У том контексту ће бити веома важно развијање услуга образовања запослених, како би надоградили своје вештине недостајућим компонентама. У техничком погледу, много већи нагласак биће стављен на интердисциплинарне вештине. Како би се осигурало да обука појединаца буде адекватно препозната, неопходно је развити стандарде за признавање неформалног образовања.

Основни циљ је научити запослене принципима новог, холистичког организационог модела и осигурати да ти модели буду описани транспарентно, тако да су запослени сигурни у оно што раде (Н. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013).

5.3.7. Регулаторни оквир

Као и свака друга технолошка иновација, нови производни процеси повезани са Индустријом 4.0 ће се суочити са постојећим регулаторним оквиром, што може довести до одређених изазова. С једне стране, легалности примене нових технологија које са собом доносе и питања везана за заштиту података могла би спречити њихово прихватање или у најмању руку успорити њихово увођење и примену у производним системима. Са друге стране, снага нових технологија и пословних модела може бити толико велика да је готово немогуће применити постојеће законодавство. Због тога су неопходне две ствари како би се ускладили регулаторни оквир и примена нових технологија (Н. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013):

- формулација критеријума који осигуравају да нове технологије буду у складу са законом
- развој регулаторног оквира на начин који олакшава иновације

У контексту Индустрије 4.0, то се може постићи општим правним уговорима. То захтева да се регулаторна анализа нових технологија започне што раније, по могућности у фази истраживања и развоја, а не да се чека да нова технологија већ уђе у фазу примене.

5.3.8. Ефикасност при употреби ресурса

Прерађивачки сектор је далеко највећи потрошач сировина у индустријским земљама. Заједно са приватним сектором уједно је и главни потрошач примарне и електричне енергије. Поред тога што оваква потрошња ресурса подразумева значајне трошкове, она укључује и ризике везане за заштиту животне средине и сигурност снабдевања, које је потребно свести на минимум. Сходно томе, у прерађивачком сектору се предузимају значајни напори како би се смањила потрошња енергије и других ресурса, или пронашли алтернативни извори. Како би ови напори имали ефекта неопходно је да се на њима дугорочно ради. То се пре свега односи на промене у производним процесима и пројектовању машина и постројења, јер су то кључна подручја где се могу

направати значајне уштеде у употреби ресурса (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013).

5.4. Индустрија 4.0 у земљама у развоју

Основна идеја увођења концепта Индустрије 4.0 у компаније се заснива на обезбеђивању флексибилних производних процеса и анализи великих количина података у реалном времену, захваљујући чему се унапређује стратешко и оперативно одлучивање (Heppelmann and Porter 2014). Индустрија 4.0 је омогућена применом напредних технологија као што је на пример примена интернета ствари, сајбер-физичких система, рачунарства у облаку, анализе великих количина података, симулације, виртуелне и проширене реалности, адитивних технологија и аутономних робота. Међутим, посматрано из социо-технолошке перспективе, препознато је да је за успешно увођење и примену наведених технологија у производним системима неопходна подршка других компоненти система. Како би се Индустрија 4.0 адекватно имплементирала у компанијама потребно је узети у обзир следеће три димензије (Frank, Ribeiro, and Echeveste 2015):

- Организација рада – због увођења нових технологија неопходно је размотрити на који начин је потребно организовати процес производње као и све друге повезане активности (Brettel et al. 2014)
- Људски фактори – нове технологије од запослених захтевају усвајање нових компетенција и вештина (Wei, Song, and Wang 2017)
- Окружење – увођење и примена нових технологија зависи од окружења у ком се имплементација спроводи (Schumacher, Erol, and Sihn 2016)

Свака од ових димензија је од великог значаја за увођење концепта Индустрије 4.0 у компаније прерађивачког сектора због чега заслужују да им се посвети посебна пажња. Како би се на адекватан начин приступило анализи организационих и технолошких аспеката у прерађивачком сектору, веома је важно дефинисати контекст, односно окружење у ком ће анализе бити вршене. Зато ће прво фокус бити стављен на окружење, односно биће указано на приступ увођењу концепта Индустрије 4.0 у прерађивачки сектор у земљама у развоју.

Концепт Индустрије 4.0 је настао у развијеним земљама, у којима постоји висок ниво зрелости у погледу аутоматизације и употребе информационих технологија у прерађивачком сектору, а чија заједничка употреба представља

основу Индустије 4.0 (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013). Управо из тог разлога се прерађивачки сектор у земљама у развоју, у којима је ниво примене савремених технологија на ниском нивоу, могу суочити са бројним изазовима приликом увођења концепта Индустије 4.0 (Krawczyk, Czyżewski, and Vocian 2016). На пример, показало се да улагање компанија у набавку и примену савремених софтверских решења не мора нужно да доведе до добрих резултата у смислу побољшања њихове позиције на тржишту или унапређења производних процеса. Најчешћи разлог за неуспешно имплементирање напредних алата се огледа у томе да су ова улагања усмерена на аутоматизацију рутинских процеса уместо да фокус буде на променама које заиста могу да обезбеде компетитивну предност компанијама у погледу иновативности (Frank et al. 2016). Осим тога, већина компанија у земљама у развоју не базира своју производњу на напредним технологијама које су карактеристичне за Индустију 4.0 (Zuniga and Crespi 2013). Оно што је такође карактеристично за земље у развоју је да већина становништва има ниже приходе него становништво у развијеним земљама, чинећи ниже цене производа релевантнијим фактором конкурентности од иновативности (Nakata and Weidner 2012). Овакво понашање на тржишту, које утиче на приходе компанија, може имати утицај на стратешке одлуке компанија везано за улагања у напредне технологије. Из тог разлога, компаније у земљама у развоју су најчешће фокусиране на инвестирање у добро познате технологије које имају утицај на повећање продуктивности у поређењу са напредним технологијама чија је примарна сврха повећање флексибилности и диференцијација производа (Dalenogare et al. 2018).

Осим наведених разлога, постоје структурне препреке и изазови са којима се могу суочити земље у развоју када је у питању увођење концепта Индустије 4.0 у прерађивачки сектор. Један од тих изазова се односи на чињеницу да је економски раст у земљама у развоју заснован на јефтиној радној снази, што се посебно односи на прерађивачки сектор, због чега се компаније веома ретко одлучују да улажу у напредне технологије (Ramani, Thutupalli, and Urias 2017). Ланац снабдевања у прерађивачком сектору представља још један вид ограничење, јер је у поређењу са прерађивачким сектором развијених земљама обично далеко мање интегрисан (Marodin et al. 2017).

Из претходно наведеног јасно је да су изазови за усвајање концепта Индустије 4.0 у земљама у развоју другачији од оних у развијеним земљама. Како је овај концепт релативно нов, постоји велика неизвесност и недостатак

знања о стварном утицају и доприносу пре свега напредних технологија повезаних са Индустријом 4.0 у контексту земаља у развоју. Поред, тога, иако се у фокусу Индустрије 4.0 налазе напредне технологије и њихов допринос унапређењу производних процеса, од великих значаја су и истраживања из перспективе организационих аспеката значајних за увођење овог концепта.

Примена различитих организационих и технолошких концепата омогућава различите карактеристике производње и производа у складу са потребама крајњег корисника. За свеобухватну анализу доприноса организационих и технолошких концепата потребно је узети у обзир различите потенцијалне карактеристике производње и производа. На основу утврђених карактеристика производње и производа, које ће бити представљене у наставку, биће извршена евалуација примене организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору. У том смислу ће акценат бити на карактеристикама које се односе на укљученост крајњег корисника у процес развоја производа и његове производње, као и на величину серије и сложеност производа који се производе.

Компаније можемо класификовати према начину производње, а на основу ове класификације се могу идентификовати и остале карактеристике производње и производа (Rahman Abdul Rahim and Shariff Nabi Baksh 2003):

- Производња по наруџбини
- Монтажа по наруџбини
- Производња за складиште

Производни системи који су засновани на принципу производње по наруџбини обезбеђују кастомизоване производе у малим или појединачним серијама, веома често сложеним по својој структури. Ови производи су прилично јединствени и не могу се производити у системима масовне производње карактеристичним за производњу за складиште. По својој сложености, негде између два поменута начина производње налази се производна стратегија коју карактерише монтажа по наруџбини, која у себи садржи могућност прилагођавања производа крајњем кориснику, али само до одређеног нивоа (Zenaro et al. 2019).

Ова три различита начина производње носе са собом и различите приступе и карактеристике производног процеса као и самих производа. Једна од важних разлика се односи на моменат када се у процес производње укључује корисник. Код производње по наруџбини је корисник укључен у производни процес још

пре његовог почетка. Све операције неопходно за производњу одређеног производа се реализују тек након пријема поруџбине од корисника (Amaro, Hendry, and Kingsman 1999). Овај вид производње карактерише висока флексибилност производног система спремног да се прилагоди производњи производа у појединачним или у малим серијама који су сложени по својој структури. Како комплексност производног процеса опада (нпр. монтажа по наруџбини, производња за складиште) тако је и потреба за флексибилношћу производног система мања, серије производње су веће, а производи су нижег степена сложености. У складу са претходно наведеним, поред различитих начина производње који су дефинисани, идентификовани су и други елементи са својим подгрупама који се односе на карактеристике производа и производње (Rahman Abdul Rahim and Shariff Nabi Baksh 2003).

Развој производа се може реализовати на следеће начине:

- Према спецификацији купца
- Стандардни асортиман којем се додају опције по жељи купаца
- Стандардни асортиман из којег купац бира

Величина серије може бити:

- Појединачна производња
- Мала или средња серија
- Велика серија

Сложеност производа може бити:

- Једноставан производ
- Производ средњег степена сложености
- Производ високог степена сложености

6. Организациони концепти у прерађивачком сектору

У највећем броју случајева су истраживања везана за унапређење прерађивачког сектора фокусирана на увођење нових технологија са циљем побољшања учинка компанија и њиховог економског раста. Истраживања везана за технолошка унапређења су у овој области посебно постала актуелна са увођењем концепта Индустрије 4.0. У исто време, организациони аспекти у компанијама су прилично занемарени (Droege, Hildebrand, and Forcada 2009). Овакав приступ истраживањима у прерађивачком сектору је критикован, између осталих разлога, јер не пружа свеобухватну слику о напорима које компаније улажу како би унапредиле пословање (Schmidt and Rammer 2011). Из тог разлога, свеобухватни прилаз би требао да подразумева анализе које узимају у обзир и елементе који нису искључиво технолошког карактера (Marsili and Salter 2006).

Значај унапређења организационих аспеката је препознат још пре неколико деценија када је наглашена важност организационог унапређења компанија које би требало третирати на једнак начин као и технолошка унапређења (Barney, Nelson, and Winter 1987). У складу са овом тврдњом, новија истраживања у одређеној мери наглашавају да се унапређења не односе само на развој и примену нових технологија, већ и на усвајање и реорганизацију пословних рутина, унутрашњу организацију и примену савремених организационих концепата (Bарађано 2003). У том смислу, сматра се да је фокусирање компанија искључиво на усвајање технолошких унапређења недовољно за одржавање конкурентности, јер се њихова потпуна искоришћеност може остварити само уз присуство комплементарних организационих унапређења. Веома важно је и запажање да се организациона унапређења, у поређењу са технолошким, сматрају систематичнијим и тежим за опонашање што их самим тим чини значајним извором конкурентске предности за компаније (Martin-Rios and Parga-Dans 2016).

Веома је важно да истраживања везана за прерађивачки сектор на неки начин обухвате и организационе аспекте пословања компанија, јер се различити типови унапређења међусобно надопуњују (Psomas and Kafetzopoulos 2014). Технолошка унапређења у компанијама би требало спроводити заједно са организационим како би исход био оптималан, јер увођење и примена савремених организационих концепата представља

предуслов за ефикасно увођење и употребу напредних технологија (Armbruster et al. 2008). Овакав приступ истраживању је у складу и са препорукама за увођење концепта Индустрије 4.0 где је значајан акценат стављен на унапређења која се тичу организације и управљања производњом, као и управљања људским ресурсима (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013).

Из тог разлога, у овом делу истраживања ће бити представљени организациони концепти чије увођење би требало да има допринос у унапређењу пословања компанија у прерађивачком сектору. Организациони концепти су подељени у три групе:

- Организација производње
- Управљање производњом и контрола
- Управљање људским ресурсима

6.1. Организација производње

У оквиру организације производње биће описани и објашњени организациони концепти који у овом сегменту могу допринети унапређењу производног процеса у компанијама прерађивачког сектора. То су:

- Стандардизоване и детаљне писане радне инструкције
- Мере унапређења интерне логистике
- Оптимизација процеса производње
- Интеграција радних задатака
- Организација производње према PULL принципу

6.1.1. Стандардизоване и детаљне писане радне инструкције

Стандардизоване радне инструкције представљају најсигурнији, најлакши и најефикаснији начин обављања задатка. Међутим, не постоји само један начин да се то постигне. Радници морају да пројектују стандардизоване радне инструкције и користе их као основу за побољшање, јер недостатак стабилности и стандардизације у раду може резултовати проблемима у производном процесу. Осим тога, важно је разумети да се активности непрестано модификују, јер је неопходно да се процеси континуирано унапређују. Циљ дефинисања стандардизованих радних инструкција је обезбеђивање високе продуктивности. Основни задатак је постизање равнотеже међу свим процесима на производној линији како би се скратило време трајања и елиминисале залихе и шкарт (Morgan and Liker 2006). Такође, употреба

стандардизованих радних инструкција обезбеђује да се операција реализује на стандардан начин без обзира на то који радник обавља ту операцију.

Стандардизоване радне инструкције подразумевају примену концепата као што је Мејнардова техника низа операција (*енг. Maynard Operation Sequence Technique (MOST)*). MOST је развијен за превазилажење проблема напорног рада и обраде огромне количине података које су неопходне при употреби МТМ поступка за дефинисање стандардног времена за обављање одређене операције (de Jong 1983).

За спровођење концепта MOST који се користи за развој нормалног времена трајања активности потребно је спровести поступак који се састоји од следећих пет корака (de Jong 1983):

Корак 1: посматрање и документовање начина на који се операција реализује

Корак 2: подела операције на логичке активности

Корак 3: избор одговарајућег редоследа за сваку активност

Корак 4: избор одговарајуће вредности за параметре модела

Корак 5: утврђивање нормалног времена трајања операције.

6.1.2. Мере унапређења интерне логистике

За унапређење интерне логистике најважније је квалитетно мапирање тока вредности. Ток вредности представља скуп свих активности, без обзира да ли оне додају или не додају вредност, које су потребне да би се производ или група производа који користе исте ресурсе спровео кроз све главне токове, почевши од сировина потребних за производњу па све до испоруке крајњем кориснику. Ове активности узимају у обзир проток информација и материјала кроз цео ланац снабдевања. Крајњи циљ мапирања тока вредности је идентификовање свих врста отпада у току вредности и предузимање корака за њихово уклањање (Rother 1999). На овај начин се омогућава задовољење потреба крајњег корисника на ефикасан начин.

Мапирање тока вредности представља основу за производни процес, олакшавајући тако доношење квалитетних одлука за унапређење тока вредности (McDonald, Van Aken, and Rentes 2002). Први корак мапирања тока вредности је избор одређеног производа или групе производа где се желе

спровести унапређења. Следећи корак је утврђивање тренутног стања које указује на који начин се процеси тренутно одвијају. Утврђивање тренутног стања обезбеђује основу за анализу система и препознавање његових слабости. Након утврђивања тренутног стања, у оквиру мапирања тока вредности неопходно је да се дефинишу и израде планови будућег стања, који осликавају како би систем требало да изгледа након што се сви негативни елементи из њега уклоне. Ово обично подразумева усклађивање набавки у складу са потребама крајњих корисника, синхронизацију производног процеса и креирање ефективних и ефикасних токова у систему. Дефинисани планови представљају основу за извршење неопходних промена у систему које би требало да доведу до његовог унапређења (Abdulmalek and Rajgopal 2007). Како би се мапирања тока вредности реализовало на квалитетан начин предвиђена је употреба одређених алата (Hines and Rich 1997):

- Мапирање активности у оквиру дефинисаног процеса
- Мапирање процеса засновано на времену трајања активности
- Мапирање разноврсности производа
- Мапирање квалитета процеса
- Мапирање промена у потражњи
- Мапирање доношења одлука у зависности од потражње
- Мапирање физичке структуре

Од велике је важности да компаније препознају које од ових алата треба да примене у складу са ситуацијом у којој се налазе и евентуалним проблемима са којима желе да се суоче, и да кроз њихово решавање унапреде процес производње.

6.1.3. Оптимизација процеса производње

Оптимизација процеса производње, из угла организационих концепата који се у те сврхе могу користити, пре свега се односи на смањење времена припреме машина и замене алата када се мења производ или група производа на линији (Moxham and Greatbanks 2001). The “*Single Minute Exchange of Dies*” (SMED) је организациони концепт који се најчешће користи у ове сврхе.

Захтев за применом SMED-а произилази из великог броја потешкоћа са којима се сусрећу производне компаније, као што је на пример повећан број различитих поставки машина потребних за производњу разноврсних производа у малим серијама. SMED техника омогућава да чак и ако се учесталост промена

у подешавањима не може смањити, стварни прекид проузрокован променама спецификација рада машина може се у великој мери смањити, пружајући на тај начин повећање расположивог производног капацитета (Shingo 1985). Пет принципа за брзе промене поставки рада машина су следећи:

1. *Разликовати интерне од екстерних елемената за подешавање.* Укупно време потребно за обављање активности подешавања и промена на машинама се мери у овом кораку. Интерно подешавање се односи на активности подешавања и промена које се изводе само у случају када машина није у стању рада, док се екстерно подешавање и промена односи на активности које се могу изводити док је машина у раду (Moxham and Greatbanks 2001). На пример, узимање алата пре него што машина заврши обраду последњег комада серије се сматра екстерним елементом јер се производња због тога не мора зауставити. Са друге стране, свака промена на радном делу машине током производње производа без заустављања процеса је прилично компликована. Због неопходности да се процес заустави, овакве активности се односе на интерне елементе за подешавање.
2. *Раздвојити интерне од екстерних елемената за подешавање.* У овом кораку је неопходно да се активности подешавања и промена на машинама поделе на интерне и екстерне (Jebaraj Benjamin, Murugaiah, and Srikamaladevi Marathamuthu 2013).
3. *Претворити што више интерних елемената у екстерне.* У овом кораку раде се техничке модификације како би се неки интерни елементи претворили у екстерне елементе (Van Goubergen and Van Landeghem 2002). Иако раздвајање интерних од екстерних елемената за подешавање доприноси унапређењу производног процеса, значајна унапређења се могу постићи тек ако постоји могућност претварања неких интерних елемената у екстерне. Циљ овог корака у SMED процесу је утврђивање да ли постоје било какве активности подешавања и промена машина које су класификоване као интерне које се могу изводити док машина ради, што заузврат доводи до директног смањења времена у ком машина није у раду (Michels 2007).
4. *Поједноставити преостале интерне елементе.* Овај корак SMED технике захтева истраживање алтернативних начина да се смањи време трајања преосталих интерних активности на такав начин да се

подешавање и промена машина реализује уз употребу што је мање могуће времена (Jebaraj Benjamin, Murugaiah, and Srikamaladevi Marathamuthu 2013).

5. *Рационализовати екстерне елементе*. Екстерне активности је потребно поједноставити што је више могуће, како би биле реализоване на бржи и ефикаснији начин. Смањивање времена потребног за обављање екстерних активности не смањује директно време застоја, али ослобађа оператере да могу да се преусмере на друге активности (Trovinger and Bohn 2009).

6.1.4. Интеграција радних задатака

Под интеграцијом радних задатака се подразумева давање већих овлашћења раднику на машини, као што су планирање и контрола производње. За ефикасну, ефективну и економичну реализацију производних процеса од суштинске је важности интеграција система планирања и контроле производње. Планирање производње, а након тога и контрола производње прате прилагођавање дизајна производа и финализацију производног процеса (Oborski 2018).

Планирање и контрола производње се баве решавањем важних проблема у прерађивачком сектору који се односе на ниску продуктивности, управљање залихама и ефикасну употребу ресурса. Предности интеграције планирања и контроле производње су следеће:

- Обезбеђује оптимално коришћење производних капацитета правилним распоређивањем активности и употребе ресурса што смањује време чекања и прекомерну употребу машина и ресурса
- Осигурава да се ниво залиха одржава на оптималном нивоу у сваком тренутку
- Осигурава да се производња одржава на оптималном нивоу и на тај начин убрзава време обрта
- Обезбеђује одржавање квалитета финалног производа кроз обухватање свих аспеката производње

6.1.5. Организација производње према PULL принципу

PULL принцип је један од кључних алата који се користи за избегавање прекомерне производње, како локалне прекомерне производње на одређеној

радној станици, тако и прекомерне производње готових производа. PULL принцип је концепт у ком производни процес није покренут поруџбинама или распоредом. Оно што покреће производњу је потражња корисника. Главни циљ PULL принципа је произвести готове производе на оптималан начин у погледу квалитета, времена и трошкова, како би се задовољила потражња корисника. Кључно је постизање максималног протока ресурса у оквиру процеса уз минимизирање трошкова пословања. За спровођење PULL принципа потребна је селективна контрола ресурса како би се утврдило који ресурси се додељују за одређену активност (Tommelein 1998). У већини производних система практично је немогуће апсолутно организовати производњу према PULL принципу, али сви системи засновани на PULL принципу имају три карактеристике.

- Прво, производња се не покреће док год не постоји стварна потражња.
- Друго, будући да производни процес понекад садржи припрему машина и замену алата када се мења производ или група производа на линији, често су потребна складишта за одржавање протока. Дакле, производни процес мора да обезбеди попуњавање складишта залихама брзином већом од потражње корисника. Међутим, за одржавање контроле, сва складишта морају имати дефинисану горњу границу залиха. Најбоље би било да комплетан производни процес има дефинисану горњу границу залиха како би било могуће говорити о организацији производње према PULL принципу.
- И треће, производња се покреће тек када корисник на крају производног процеса преузме производ

Системи масовне производње користе PUSH принцип. Овај принцип представља супротност PULL принципу. Ослањају се на распоред и прогнозе потражње са основним циљем да гурну производ до следеће радне станице. Приликом употребе овог принципа не постоји контрола над залихама, због чега често долази до нагомилавања полупроизвода и проблема са залихама. Кључни проблем који се решава организацијом производње према PULL принципу су варијације проузроковане променама распореда, које су често резултат промене поруџбине корисника (Nathan and Scobell 2012).

6.2. Управљање производњом

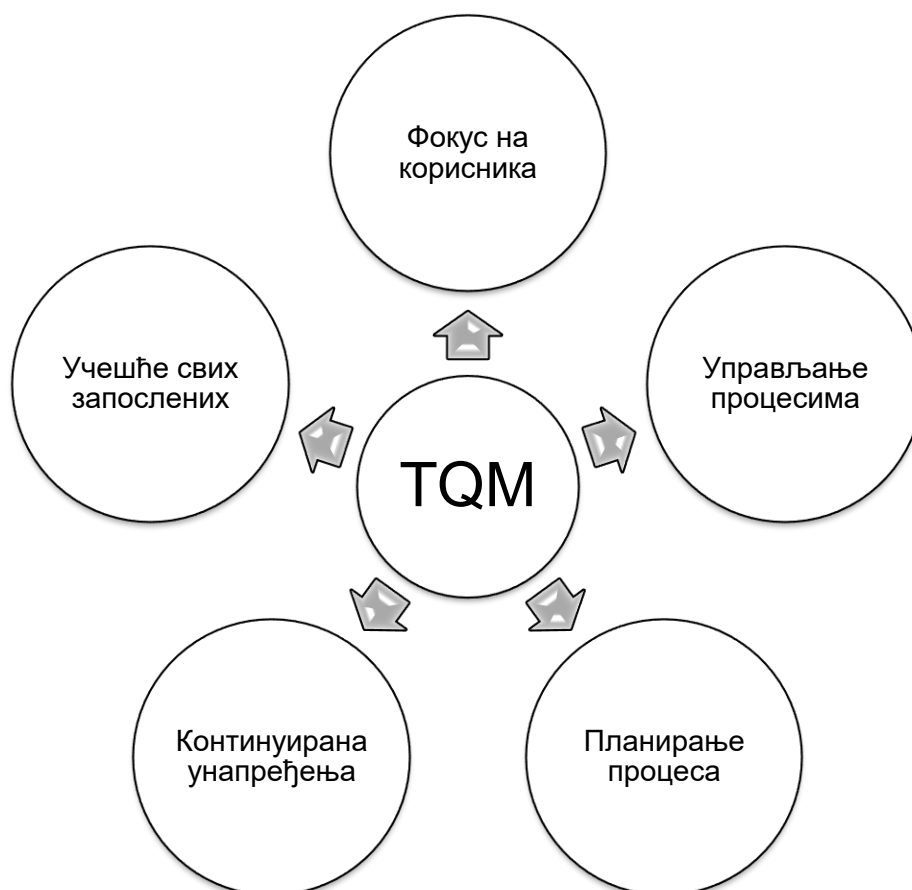
Управљање производњом представља један од важних фактора успеха компанија прерађивачког сектора, због чега ће у овом делу бити представљени кључни организациони концепти који припадају овој групи. То су:

- Методе за обезбеђење квалитета у производњи
- Управљање производњом применом визуелних алата
- Методе операционог менаџмента
- ИСО стандарди

6.2.1. Методе за обезбеђење квалитета у производњи

Постоје различити концепти који могу да обезбеде квалитет у производњи. У фокусу овог истраживања су два концепта: Total Quality Management (TQM) и Six Sigma.

TQM је процес континуираног откривања и редуковања или отклањања грешака у производњи, поједностављења управљања ланцем снабдевања, унапређења корисничког искуства и обезбеђивања брзог напретка запослених кроз процес обуке. TQM има за циљ да сви актери укључени у процес производње буду одговорни за квалитет крајњег производа или услуге. TQM представља структурирани приступ свеобухватном управљању организацијом. Фокус при примени овог концепта се ставља на побољшање квалитета укупног учинка организације, укључујући производе и услуге, кроз континуирано унапређење устаљених интерних начина понашања. TQM се сматра концептом усмереним на крајњег корисника и има за циљ стално унапређење пословања. Настоји да обезбеди заједничке циљеве побољшања квалитета производа или услуга за све запослене, као и унапређење поступака који се примењују у производњи (Aquilani et al. 2017). Основни принципи TQM-а су представљени на Слици 6.



Слика 6. Принципи TQM-а (“Total Quality Management” 2018)

Иако између концепта TQM и Six Sigma постоји много сличности посматрано из угла унапређења процеса, ова два концепта подразумевају и одређене различитости у приступу. TQM је примарно фокусиран на смањење грешака у производном процесу, док се Six Sigma концепт базира на смањењу дефеката у производњи.

Six Sigma је методологија контроле квалитета у производњи коју је развила компанија Моторола 1986. године. Овај концепт је заснован на анализи података како би се ограничиле грешке и дефекти у производном процесу. Six Sigma концепт је фокусиран на смањење времена производног циклуса, истовремено смањујући и дефекте настале у производњи на ниво не већи од 3,4 појаве на милион јединица. Другим речима, Six Sigma је метода за бржи рад са мање грешака. Six Sigma је последњих година еволуирала у општу филозофију управљања пословањем, фокусирану на испуњавање потреба крајњих корисника, као и унапређење квалитета производа и услуга (Dahlgaard and Dahlgaard-Park 2006).

6.2.2. Управљање производњом применом визуелних алата

Управљање производњом применом визуелних алата је техника која обезбеђује располагање важним информацијама на радном месту. То је систем приказа информација на екранима, визуелне контроле, ознака, кодирања у различитим бојама, уместо употребе писаних инструкција. Увођењем дигиталних технологија, компаније се у великој мери ослањају на визуелно управљање производњом како би откриле неправилности и ојачале стандарде, истовремено осигуравајући стабилност и сигурност на радном месту. Уз примену визуелног управљања производњом, сваки запослени би требао бити у стању да већ на први поглед процени тренутно стање неког процеса. Поред тога, веома је важно за запослене да користе визуелне приказе како би у сваком тренутку знали шта се од њих очекује и да би се информисали о статусу производног процеса и потребама крајњих корисника (Morrow et al. 2012).

Ефикасан систем визуелног управљања производњом има за циљ да прикаже информације о статусу производног процеса и перформансама производње, обезбеди везу између стандарда и радних инструкција и учини да проблеми и неправилности у производном процесу буду што је могуће очигледнији и јаснији. Визуелно управљање производњом може умањити могућност настанка грешака у комуникацији, истаћи настанак одступања у производном процесу и пружити непосредан увид у поступке које треба предузети како би се недостаци отклонили. Обезбеђивањем видљивости проблема и потенцијалних одступања у производном процесу, омогућава се тренутно предузимање корективних мера за повећање ефикасности и ефективности процеса. Визуелна контрола се такође користи за дељење циљева и идеја, извештавање запослених о току процеса и указивање на безбедносне ризике и промовисање безбедног понашања у оквиру радних задатака (Staats, Brunner, and Upton 2011).

Истраживања показују да људи боље уче и обрађују информације визуелно. Из тог разлога се може очекивати да ефикасан систем визуелног управљања може позитивно утицати на сигурност, продуктивност, смањење трошкова, квалитет, правовремену испоруку, управљање залихама и поузданост опреме која се користи у производњи. Визуелни материјали на радном месту могу играти важну улогу у обуци на радном месту што смањује потребу за сталним надзором запослених. Употреба алата за визуелно управљање производњом омогућује запосленима да брзо препознају и реагују на проблеме који се односе

на безбедност, квалитет и ефикасност. Визуелно управљање производњом нуди и друге предности, укључујући (Santos, Wysk, and Manuel Torres 2006):

- Стабилност у раду и употреби опреме
- Смањење грешака у производном процесу
- Смањење застоја и трошкова одржавања
- Повећање свести о отпаду и управљању отпадним материјалом
- Унапређење безбедности на раду
- Побољшање комуникације међу различитим сменама у производњи
- Повећање укључености и морала запослених
- Смањење потребе за дуготрајним састанцима
- Унапређење континуираног усавршавања

6.2.3. Методе операционог менаџмента

Операциони менаџмент је пословна функција која има за циљ да планира, организује, координира и контролише ресурсе потребне за производњу производа. Основна идеја примене овог концепта је претварање улазних сировина у готове производе коришћењем доступних ресурса. Ако се овај концепт имплементира на адекватан начин, требало би да обезбеди брзу испоруку кастомизованих производа по прихватљивој цени. Са друге стране, постоје одређене препреке које могу отежати адекватну примену концепта, што даље имплицира неповољне последице по пословање компанија.

Како би се производни процес одвијао на адекватан начин, веома је важно коришћење квантитативних метода за доношење одлука. Квантитативне методе имају значајну улогу у процесу доношења одлука везаних за ефикасну употребу доступних ресурса са циљем обезбеђивања раста и развоја компаније (Karibo B. Bagshaw 2017). Квантитативне анализе подразумевају примену различитих техника у зависности од природе проблема који је потребно решити. Најчешће коришћене технике у операционом менаџменту су (Karibo Benaiah Bagshaw and Nissi 2019):

- Линеарно програмирање
- Редови чекања
- Корелациона анализа
- Регресиона анализа

Примена ових метода пружа подршку у процесу планирања и контроле производње. На овај начин се управљање производњом заснива на објективним информацијама које уз добру интуицију доносиоца одлуке дају поуздане смернице за квалитетан приступ реализацији производног процеса.

6.2.4. ИСО стандарди

Стандардизација је имала велики значај за развој индустријског друштва. Стандардизација је уведена почетком двадесетог века, како би се смањила разноликост компоненти, делова и потрошних материјала и да би се подстакла њихова међусобна заменљивост. Наравно, током времена је стандардизација добила много ширу примену у процесима управљања производњом (Heras-Saizarbitoria, Boiral, and Allur 2018).

Стандарди представљају добровољне прописе, смернице или процесе које организације користе за формализацију, систематизацију и легитимизацију разноврсних менаџерских активности или задатака. Ови стандарди се односе на различите аспекта пословних активности као што су стандарди за управљање квалитетом (ИСО 9001), заштитом животне средине (ИСО 14001) и потрошњом енергије (ИСО 50001).

ИСО 9001 је стандард који се односи на управљање квалитетом и представља најпримењенији стандард у производним компанијама. Последња верзија овог стандарда је објављена 2015. године.

Овај стандард се у почетној фази имплементације примарно уводио у компанијама из земаља ЕУ. То се могло и очекивати, узимајући у обзир чињеницу да су институције ЕУ, а посебно Европска комисија, интензивно промовисале увођење овог стандарда у компанијама, као дела процеса усклађивања са циљем стварања јединственог европског тржишта 1992. године (Tsiotras and Gotzamani 1996). Са друге стране, у земљама у другим деловима света (нпр. САД и Јапан) имплементација стандарда ИСО 9001 није била толико интензивна на самом почетку. Међутим, у последње време се и у овим земљама бележи значајнија примена овог стандарда (Heras-Saizarbitoria, Boiral, and Allur 2018).

Треба истаћи да стандард ИСО 9001 није стандард који се односи на усклађеност са неким циљем или са одређеним резултатима. ИСО 9001 није стандард за мерење перформанси квалитета производа или услуга компанија. То је стандард на основу чије имплементације се успоставља потреба за

систематизацијом и формализацијом читавог низа процеса компаније кроз дефинисање процедура и документовање њихове примене. ИСО 9001 стандардизује процедуре, задатке и улоге, а не циљеве или исходе. Усаглашеност са стандардом ИСО 9001 подразумева постојање документације која ће показати примену система управљања квалитетом који укључује у стандардизоване и документоване процедуре дефинисане за основне процесе који се користе за производњу производа. Овај стандард представља алат за управљање заснован на систематизацији и формализацији задатака како би се постигла хомогеност производа која је у складу са спецификацијама које дефинише крајњи корисник (Shannon, Daly, and Marilyn 1999).

Стандард ИСО 14001, који се односи на управљање заштитом животне средине, је уведен 1996. године, за шта је највећу заслугу имао успех при увођењу стандарда ИСО 9001. У то време је јачао тренд производње који је значајније узимао у обзир заштиту животне средине.

Стандард ИСО 14001 је од самог почетка имплементације био изложен различитим критикама, како у погледу садржаја, тако и према поступку утврђеном за његово сертификавање у компанијама. У суштини, критике су се углавном односиле на чињеницу да стандард није усмерен ка унапређењима перформанси везаним за животну средину, у смислу да компаније нису обавезне да постигну одређене резултате у области заштите животне средине (King, Lenox, and Terlaak 2005). Смисао увођења стандарда ИСО 14001 се не огледа у унапређењима циљева везаних за заштиту животне средине (нпр. смањење загађења животне средине). Овај стандард је примарно усмерен на утврђивање захтева који дефинишу начине понашања компаније везано за активности које имају утицај на животну средину. У суштини, стандард ИСО14001 обезбеђује оквир који укључује бригу о животној средини у свакодневним активностима неке компаније (Heras-Saizarbitoria, Boiral, and Allur 2018).

Стандард ИСО 50001 за управљање енергијом се најчешће имплементира упоредо са стандардима ИСО 9001 и ИСО 14001 јер је заснован на истим принципима. ИСО 50001 је стандард који је у последње време препознат као веома значајан, што се огледа у чињеници да га све више компанија имплементира. Овај стандард омогућава компанијама да успоставе систем и процесе неопходне за унапређење енергетских перформанси компаније,

укључујући енергетску ефикасност, као и употребу и потрошњу енергије (Karcher and Jochem 2015).

Како свест јавности о питањима заштите животне средине расте, компаније све више преиспитују своју енергетску политику, посвећујући више пажње енергетским перформансама компаније. Као део корпоративне одговорности, поред остваривања профита, компаније треба да воде рачуна и о одрживом развоју животне средине и заједнице, узимајући у обзир проблеме везане за климатске промене и исцрпљивање ресурса. Примена стандарда ИСО 50001, која подразумева примену систематске методологије за управљање енергетским системима, може пружити компанијама бројне пословне користи, као што су (The Hong Kong Electronic Industries Association (HKEIA) 2013):

- Смањење потрошње енергије и емисије угљен-диоксида на систематски начин
- Стварање јасне слике тренутног стања коришћења енергије на основу ког се могу постављати нови циљеви
- Евалуација и приоритизација примене нових енергетски ефикасних технологија
- Креирање оквира за промоцију енергетске ефикасности у ланцу снабдевања
- Давање смерница о начину мерења, документовања и извештавања о употреби енергије у компанији
- Ефикасније искоришћење ресурса који троше енергију и идентификовање потенцијала за смањење трошкова одржавања или проширивање капацитета

6.3. Управљање људским ресурсима

Управљање људским ресурсима представља веома важну функцију у производним компанијама, посебно сада када су промене у производним процесима веома комплексне и брзе. Иако присуство нових технологија наизглед има тенденцију да смањи број неопходних људи за реализацију производних процеса, и даље човек представља најфлексибилнији део система. Управо из тог разлога, потребно је обратити посебну пажњу на запослене у компанијама како би сви процеси могли да се одвијају на адекватан и квалитетан начин. Са једне стране, потребно је обратити пажњу на задовољство запослених на радном месту, с обзиром да је све мање радне

снаге способно да одговори на захтеве савремене производње која подразумева примену бројних напредних технологија. Са друге стране, како би запослени били у могућности да прате трендове у производњи, неопходно је обезбедити адекватну обуку и друге облике њиховог развоја. Квалитетно управљање људским ресурсима се сматра једним од основних извора помоћу којих компаније могу обликовати вештине, способности, понашање и став својих запослених како би обезбедили да њихове активности буду усклађене са циљевима компаније (Benešová and Tupa 2017).

Компаније треба да дизајнирају своје програме обуке на начин који ће побољшати иновативне способности и учење запослених. Поред тога, компаније би требале да понуде својим запосленим различите врсте обуке како би им се омогућило да извршавају већи број задатака. У том смислу, обуке које компаније нуде својим запосленим не морају нужно да буду директно повезане са њиховим послом, него могу да буду усмерене на повећавање разноликости вештина запослених. С обзиром на сталне промене, обука запослених би требала да се реализује као континуиран процес. Акцент би требао да буде и на тимском раду, а менторисање би требало да буде стандардна активност руководиоца, посебно према новим запосленима. Такође, запослени би требали да се оспособљавају за решавање различитих проблема на које наилазе, а не само да обављају рутинске послове (Ma Prieto and Pilar Perez-Santana 2014).

Компаније би требале да уложе велики напор при одабиру правих кандидата за сваки посао, користећи опсежне процедуре селекције и запошљавања. У процесу селекције и запошљавања компаније треба да процене циљну оријентацију кандидата, која може бити усмерена на учење или учинак. Како би се промовисала иновативност и учење у компанијама, компаније би требало да се фокусирају на кандидате који су примарно оријентисани на учење. Пошто се запослени са усмереношћу ка учењу радије баве изазовним задацима, они су заинтересовани да се константно унапређују и развијају нове вештине и знања (Fazlzadeh and Khoshhal 2012).

Приходи запослених би требали да буду засновани на њиховом доприносу компанији. Овај допринос треба разматрати из перспективе личног, групног и компанијског учинка. Требало би да постоји јасна веза између учинка и награда, јер овакав начин награђивања поспешује иновативност и жељу за учењем у компанији (Ma Prieto and Pilar Perez-Santana 2014).

7. Технолошки концепти у прерађивачком сектору

У последње време су технолошки капацитети компанија у великом порасту. Напредне технологије су омогућиле компанијама да размењују информације у реалном времену, да унапреде брзину и квалитет својих процеса и да пројектују производе на иновативне начине. Употреба напредних технологија на адекватан начин може компанијама да обезбеди предност у односу на своје конкуренте. Из тог разлога су технологије постале пресудан фактор за компаније да остваре конкурентску предност. Компаније које улажу у нове технологије имају тенденцију да побољшају свој финансијски положај у односу на оне које то не чине. Међутим, о увођењу технологија не треба одлучивати насумично, нити то радити само ради праћења најновијих трендова индустрије. Уместо тога, технологије које компанија имплементира треба да подрже њене конкурентске приоритете. Такође, треба изабрати оне технологије које унапређују кључне компетенције компаније и повећавају њену конкурентску предност. Технологије се могу користити за унапређење процеса или одржавање стандарда. Поред тога, имплементација и употреба различитих технологија у производним компанијама може да унапреди квалитет, смањи трошкове и побољша испоруку производа. Са друге стране, улагање у технологије може бити скупо и подразумева ризике, попут прецењивања предности примене одређених технологија или застаревања неке технологије због честог и брзог унапређења постојећих технологија (Reid and Sanders 2013).

У овом делу истраживања ће бити представљени технолошки концепти за које се може очекивати да имају допринос у унапређењу производних процеса у компанијама прерађивачког сектора. Технолошки концепти су подељени у четири групе:

- Дигиталне технологије
- Аутоматика и роботика
- Адитивне производне технологије
- Технологије за енергетску ефикасност

7.1. Дигиталне технологије

Компаније све чешће користе дигиталне технологије у свом пословању за моделовање, комуникацију и извршавање операција у производном процесу. Ове технологије омогућавају конфигурацију, пројектовање и контролу производног система. На основу примене ових технологија могуће је

унапредити процес производње или монтаже производа и припремити аутоматизоване процедуре за управљање постројењима. Поред тога, примена дигиталних технологија обезбеђује могућност за континуирано унапређење поступака рада и отклањање грешака у процесима на ефикасан начин. У овом делу истраживања ће бити представљене и објашњене следеће дигиталне технологије:

- Мобилни/безични уређаји за програмирање и руковање опремом и машинама
- Примена дигиталних решења у производном погону за приказ цртежа, радних планова и радних инструкција
- Рачунаром подржано планирање и управљање производњом
- Менаџмент ланцима снабдевања
- Системи за контролу и управљање производњом у реалном времену
- Системи за аутоматизацију и менаџмент интерном логистиком
- Системи за управљање животним циклусом производа
- Виртуелна реалност или симулација за пројектовање или развој производа

7.1.1. Мобилни/безични уређаји за програмирање и руковање опремом и машинама

Производна инфраструктура постаје све динамичнија захваљујући интеракцији са напредним информационим технологијама, попут употребе мобилних или безичних уређаја за програмирање и руковање опремом и машинама. Примена оваквих технологија је потребна компанијама, које морају да се ослоне на поуздане производне системе како би ефикасно пословали, а притом одржали висок ниво квалитета, све са циљем да би биле у могућности да одговоре на веома захтевне тржишне услове. Део ефикасности зависи од квалитетне комуникације између појединаца, одељења и партнера у оквиру производног система. Због тога што се у производним компанијама појављује све већи број запослених који су мобилни, потребни су нови модели комуникације како би се задовољиле информационе потребе запослених (Krishnamurthy and Zeid 2004). Технологије које унапређују управљање информацијама и интерну комуникацију у оквиру компанија могу потенцијално да побољшају производне процесе и самим тим постану саставни део производног процеса. Начин на који је комуникација на радном месту дизајнирана може утицати на учинак појединаца и компаније у целини. Из тог

разлога, производни процеси захтевају већи број ефикасних средстава комуникације како би се унапредила продуктивност система и последично увећао профит. Производни системи захтевају употребу модуларних информационих система за подршку раду. Због тога многи произвођачи уводе у производни процес употребу мобилних уређаја, као што су телефони или преносни рачунари (Liu and Ju 2010).

Употреба мобилних уређаја се у пословним процесима значајно повећава захваљујући побољшаним перформансама ових уређаја. Интеракција између човека и рачунара се континуирано развија због увођења напредних технологија у производне система. Све је већи број задатака које је потребно извршити за које није адекватно користити уређаје који нису мобилни. Са напретком бежичне технологије је употреба мобилних уређаја у производним процесима добила још више на значају. Бежична комуникација је дала мобилним уређајима конкурентску предност у односу на друга решења за њихову употребу у производним системима. Развојем бежичних мрежа уз растући тренд радне снаге која све више постаје мобилна, применљивост мобилних уређаја је постала одржива. Кључне предности мобилних уређаја због којих се они сматрају добрим решењем за одређене проблеме су (Nestinger, Chen, and Cheng 2010):

- Могућност приступа информацијама са било које локације
- Доступност запослених и ако се не налазе на њиховим уобичајеним локацијама
- Практичност у употреби у односу на фиксне уређаје

7.1.2. Примена дигиталних решења у производном погону за приказ цртежа, радних планова и радних инструкција

У последње време се компаније све чешће одлучују да у производним погонима замене употребу документације у папирном облику са дигиталном документацијом. Са појавом дигиталних технологија и употребом мобилних уређаја у производном процесу ова транзиција постаје једноставнија. Произвођачима су доступни различити системи који омогућавају употребу визуелних упутстава за рад како би повећали продуктивност и побољшали квалитет. Поред тога, употреба дигиталних решења у производном погону за приказ цртежа, радних планова и радних инструкција унапређује ефикасност и смањује рокове испоруке и трошкове (Liu and Ju 2010).

Запослени у производним погонима се сусрећу са информацијама које су све сложеније јер су комбиноване из више извора и врста. Унапређење људског рада дигиталним технологијама подразумева пружање персонализованих информација у реалном времену, којима се може приступити и модификовати у складу са њиховим потребама, улогама, преференцијама и ограничењима. Како би се успоставила контрола у производном погону, неопходно је да постоји јасан увид у активности које се реализују. Запослени морају имати информације о задацима које треба да остваре, а поред тога је потребна и информација о статусу реализације предвиђених задатака. Употребом дигиталних алата се обезбеђује ефикасно приказивање радних задатака и инструкција како их реализовати, упутстава, цртежа и материјала које је потребно користити у производном процесу. Такође, запослени је у могућности да у реалном времену да повратну информацију о реализацији активности и токовима материјала (Henning Kagermann 2015).

Неопходно је омогућити радницима да кроз анализу великих количина података која подразумева различита аутоматизована мерења буду способни за ефикасније доношење одлука. Унапређен приступ информацијама и анализама кроз употребу дигиталних решења би могао омогућити смањење времена производње уз истовремено повећање квалитета производа и смањење шкарта захваљујући квалитетнијем доношењу одлука и откривању образаца и трендова у одступањима у производњи. Употреба дигиталне опреме у производним погонима обезбеђује радницима аутоматски пријем свих релевантних информација у дигиталном формату које обухватају адекватно решење за постојећи проблем директно на радној станици (Richter et al. 2017).

Дигитализација производних погона доноси следеће користи за компанију и њене запослене:

- Пружа запосленима све потребне информације како би брзо донели одлуке и своје свакодневне задатке завршили на време и у одговарајућем квалитету
- Смањује потребу за активним надзором приликом реализације рутинских задатака и решавања стандардних проблема. Уштеде у времену обезбеђене на овај начин омогућавају менаџерима да се додатно посвете обуци запослених и унапређењу процеса

- Повезује различите тимове кроз интегрисане системе управљања перформансама, оперативне планове, заједничке приоритете и активности
- обезбеђује располагање квалитетним подацима у реалном времену који омогућују предвиђање проблема и рано упозоравање на потенцијалне претње у систему.

7.1.3. Рачунаром подржано планирање и управљање производњом

Систем за планирање ресурса компанија (ЕРП систем) покушава да интегрише све податке и процесе компаније у јединствен систем. Стандардни ЕРП систем користи већи број компоненти рачунарског софтвера и хардвера за постизање интеграције. Кључни елемент већине ЕРП система је употреба обједињене базе података за складиштење података из различитих модула система. ЕРП је у последњим деценијама повезан са прилично широким спектром дефиниција и примена. На Слици 7 су представљени основни системи којима се може управљати помоћу ЕРП-а.



Слика 7. ЕРП систем (Ptak and Schragenheim 2000)

ЕРП систем укључује системе финансијског рачуноводства и управљања, као и процесе планирање ресурса и пословних активности компаније, укључујући подручја као што су људски ресурси, управљање пројектима, пројектовање производа, управљање материјалима и планирање капацитета. Елиминација нетачних и сувишних података, стандардизација интерфејса пословне јединице, суочавање са проблемима јавног приступа и безбедности и прецизно моделовање пословних процеса, постали су део циљева који треба да се реализују применом ЕРП система. Са друге стране, велики трошкови имплементације, висок ризик од неуспеха приликом коришћења, огромни захтеви за корпоративним временом и ресурсима, сложена и често компликована прилагођавања пословних процеса главна су брига која се односи на имплементацију ЕРП система (Umble, Haft, and Umble 2003).

Узимајући у обзир тренутни тренд у прерађивачком сектору који се односи на максимизирање комуникације и сарадње са спољним партнерима, функционалност ЕРП система такође је проширена са решењима за управљање ланцем снабдевања (Chryssolouris et al. 2004). ЕРП системи често укључују могућности оптимизације са циљем смањења трошкова и уштеде времена практично сваког производног процеса. То се односи на решавање једноставних проблема оптимизације, распоређивања простора и планирања производње, па све до сложених проблема доношења одлука.

ЕРП системи могу повећати конкурентску предност компанија у ери информационих технологија. Потенцијалне користи од имплементације ЕРП система могу се сврстати у материјалне и нематеријалне користи (Al-Mashari, Al-Mudimigh, and Zairi 2003). Материјалне користи подразумевају:

- Повећање прихода и профита
- Повећање продуктивности
- Унапређење управљања поруџбинама
- Унапређење правремености испорука
- Побољшање услуга за кориснике
- Брже затварање финансијских циклуса и боље управљања токовима новца
- Смањење броја запослених
- Смањење залиха
- Смањење трошкова транспорта и логистике
- Смањење потребе за одржавањем система

Нематеријалне користи односе се на:

- Повећану флексибилност
- Унапређење одзива на захтеве корисника
- Већу интеграцију система
- Примену нових или унапређење постојећих пословних процеса
- Побољшану комуникацију
- Унапређење пословних перформанси
- Повећану видљивост корпоративних података
- Глобално дељење информација
- Стандардизацију рачунарских платформи
- Повећану видљивост у процесима управљања ланцима снабдевања.

7.1.4. Менаџмент ланцима снабдевања

Менаџмент ланцима снабдевања представља вишефункционални приступ који укључује управљање кретањем сировина, одређене аспекте обраде сировина у готове производе и кретање готових производа из компаније и према крајњим корисницима. Како се компаније труде да се фокусирају на основне компетенције и да повећају флексибилност, њихова тежња је да што мање директно учествују у процесу набавке сировина и управљању каналима дистрибуције. Управо се из тог разлога ове функције све више преносе у друге компаније које могу квалитетније или економичније да обављају ове активности. Идеја је да се у ланац укључи већи број организација како би се на ефикасан начин задовољила потражња крајњих корисника, уз смањење менаџерске контроле свакодневних логистичких операција у самој производној компанији. Мања контрола и више партнера у ланцу снабдевања доводе до стварања концепта управљања ланцем снабдевања. Сврха управљања ланцем снабдевања је да унапреди поверење и сарадњу међу партнерима у ланцу снабдевања, побољшавајући тако видљивост и брзину кретања залиха (Stevens and Johnson 2016). На Слици 8 су представљени кључни елементи коју су саставни део ланца снабдевања.



Слика 8. Елементи у ланцу снабдевања (Ross 2010)

Менаџмент ланцима снабдевања представља значајан процес јер адекватна примена овог концепта доводи до смањења трошкова и бржих производних циклуса. Међутим, традиционалном ланцу снабдевања недостају одређени елементи који су неопходни како би се задовољили садашњи и будући пословни захтеви. Традиционални ланац снабдевања састоји се од низа дискретних корака. Трансформација традиционалног ланца снабдевања у дигитални ланац снабдевања унапређује комплетан процес претварајући га у интегрисан систем. Дигитални ланац снабдевања се не односи на то да ли су производи или услуге физички или дигитални, већ на начин на који се управља ланцем снабдевања. Дигитално управљање ланцима снабдевања представља интелигентан технолошки систем који се заснива на могућности располагања великим количинама података и адекватном сарадњом и комуникацијом при употреби дигиталног хардвера, софтвера и мрежа за подршку и синхронизацију у интеракцији између партнера чинећи комплетан процес вреднијим, приступачнијим и доступнијим, притом генеришући доследне, агилне и ефикасне исходе (Büyüközkan and Göçer 2018).

Ланци снабдевања захтевају значајну количину сложених активности које је неопходно ускладити и пратити. Дигитализација омогућава развој следеће генерације ланаца снабдевања нудећи већу флексибилност и ефикасност. Главне карактеристике дигиталних ланаца снабдевања су следеће (Büyükközkcan and Göçer 2018):

- Брзина
- Флексибилност
- Глобална повезаност
- Интелигенција
- Транспарентност
- Исплативост
- Скалабилност
- Иновативност
- Проактивност
- Доступност залиха у правом тренутку
- Еколошка прихватљивост

7.1.5. Системи за контролу и управљање производњом у реалном времену

Системи за контролу и управљање производњом у реалном времену су рачунарски системи који се користе у производњи, за праћење и документовање трансформације сировина у готове производе. Овај систем обезбеђује информације које помажу произвођачима да разумеју како се тренутни услови у производном погону могу оптимизовати у циљу унапређења производње. Применом овог система омогућена је контрола више елемената производног процеса, као што су улазне јединице, запослени и машине. Системи за контролу и управљање производњом у реалном времену се могу употребљавати у више производних функција, као што су (Zhang 2008):

- Распоређивање ресурса
- Извршење и слање наруџбина
- Анализа производње и управљање паузама у раду машина за укупну ефикасност опреме
- Смањивање шкарта у производњи
- Унапређење квалитета производа
- Праћење и евидентирање токова материјала

- Смањење употребе документације у папирном облику

Улога система за контролу и управљање производњом у реалном времену се у савременим производним системима огледа у следећем (Filipov and Vasilev 2016):

- Пружа подршку управљању дигиталним ланцима снабдевања
- Пружа подршку управљању животним циклусом производа
- Координише вертикалну и хоризонталну интеграцију компанија
- Надгледање и координација производног тока
- Управљање операцијама одржавања на основу стања машина и опреме
- Достављање информацијама о потребним услугама за кориснике

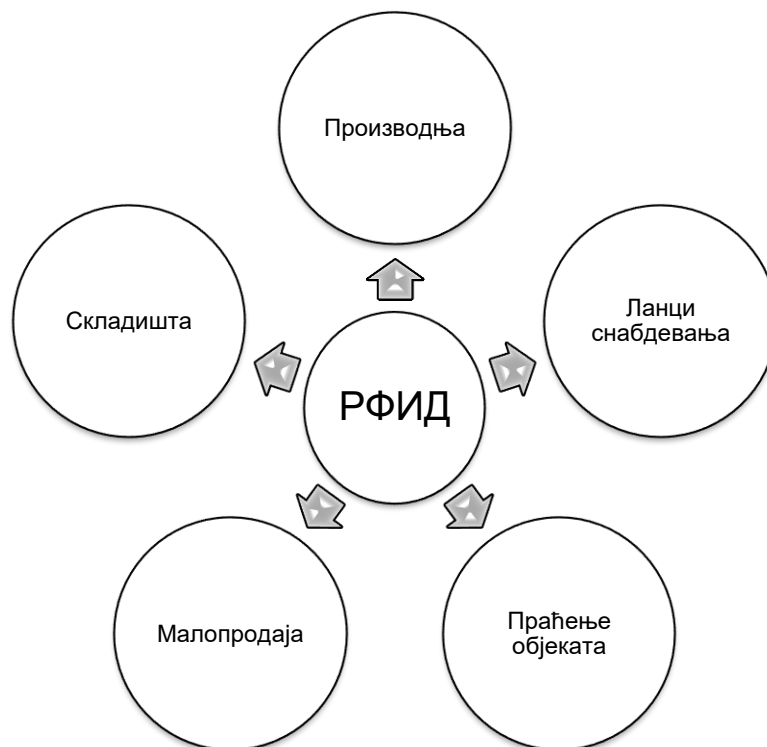
Интеграција система за контролу и управљање производњом у реалном времену са ЕРП системом омогућава оптималну везу између планирања и контроле производње. На овај начин је кроз повезивање свих новог компаније омогућена вертикална интеграција у оквиру компаније. Такође, примена ова два система у комбинацији значајно доприниси могућности повезивања компаније са добављачима и крајњим корисницима, односно хоризонталној интеграцији компанија.

7.1.6. Системи за аутоматизацију и менаџмент интерном логистиком

Системи за аутоматизацију и менаџмент интерном логистиком се значајно ослањају на идентификационе технологије као што је РФИД (*енг. Radio-frequency identification*). РФИД се користи у индустрији за прикупљање података у реалном времену. РФИД технологија побољшава видљивост информација и следљивост у ланцима снабдевања. Спроведена истраживања о примени РФИД технологије у надзору производних процеса су показала да примена ове технологије може побољшати перформансе ланца снабдевања. Ефикасне одлуке у производњи су вођене тачним подацима о производњи у реалном времену (Sari 2010).

РФИД технологија је ефикасна за идентификацију јер се информације у РФИД таговима могу аутоматски читати и писати помоћу бежичне комуникације између РФИД тагова и читача. Ова технологија је карактеристична по веома малом броју грешака и високој ефикасности идентификације (Ding et al. 2017).

РФИД технологија обезбеђује видљивост и контролу над производним и транспортним процесима у производним системима, како на нивоу саме компаније, тако и на нивоу комплетног ланца снабдевања (Zhou, Ling, and Peng 2007). На Слици 9 су представљене могућности примене РФИД технологије.



Слика 9. Примена РФИД технологије (Науак 2019)

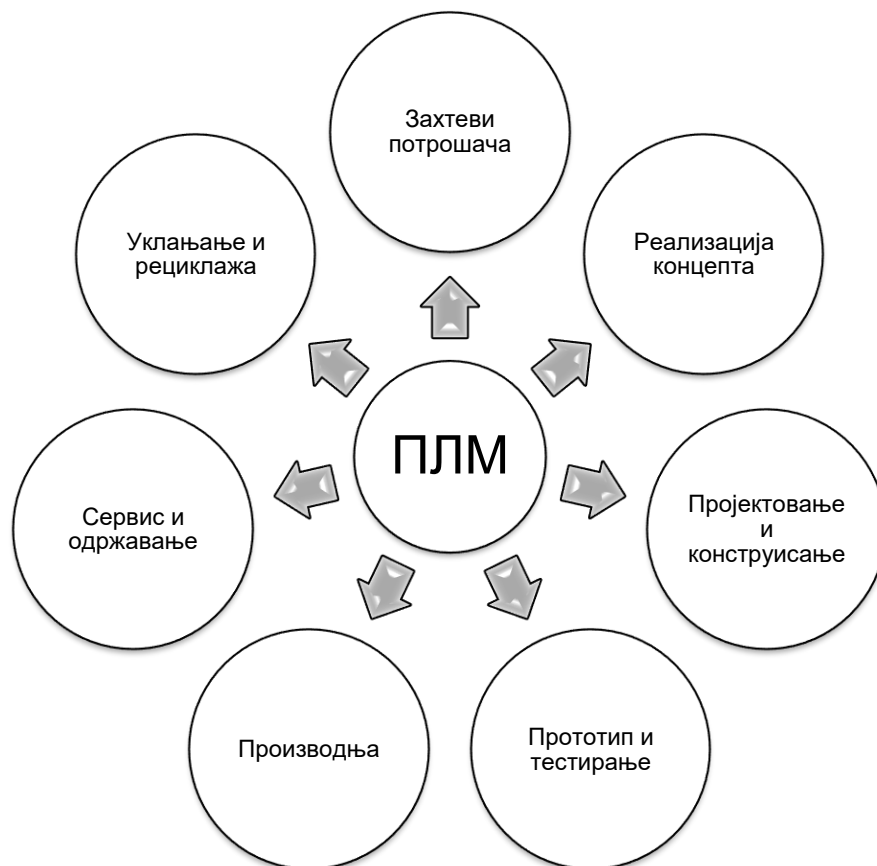
Основни принцип примене РФИД-а у индустрији је праћење динамичких промена положаја, стања и других атрибута објеката обележених РФИД тагом. Помоћу бежичне комуникације са РФИД тагом, РФИД читач може аутоматски да препозна објекте и да у реалном времену обезбеди оригиналне податке о доласку или одласку тих објеката са локација које су покривене РФИД сигналом, што указује на почетак или крај одређеног процеса на тој локацији. Ови подаци се даље могу обрадити и користити у сврхе управљања и одлучивања. Поред тога, РФИД тагови имају могућност складиштења података. Захваљујући томе, подаци који су везани за објекте, као што су планови процеса и захтеви за квалитетом, могу се сачувати у тагу и користити као подршка и помоћ у производњи (С. Wang and Jiang 2015).

7.1.7. Системи за управљање животним циклусом производа

Како расте сложеност и разноврсност производа са основним циљем задовољења све захтевнијих корисника, тако расте и потреба за знањем и

стручношћу у области развоја производа. Како би се избегли дуги развојни циклуси производа, високи трошкови развоја и проблеми са квалитетом производа, сарадња између мултидисциплинарних дизајнерских тимова постала је неопходна. Данашње окружење за развој производа, које је засновано на знању, захтева оквир који ефикасно омогућава проналажење, документовање, представљање и поновну употребу стеченог знања о производима током њиховог животног циклуса. Управо овај опис представља суштину управљања животним циклусом производа (ПЛМ).

ПЛМ је пословна стратегија која има за циљ креирање окружења усмереног на производ. Конкурентни успех производних компанија је у великој мери одређен успехом производа које уводе на тржиште. Због тога компаније континуирано покушавају побољшати ефикасност процеса реализације својих производа. ПЛМ има за циљ да поједностави проток информација о производу и процесима везаним за производ током животног циклуса производа, на такав начин да потребне информације увек буду доступне у одговарајућем контексту и у правом тренутку (Ameri and Dutta 2005). На Слици 10 су представљени кључни елементи коју су подржани ПЛМ-ом.



Слика 10. Примена ПЛМ-а (Anisic 2014)

ПЛМ је заснован на ЦАД (*енг. Computer aided design*) и ПДМ (*енг. Product data management*) системима. Као технолошко решење, ПЛМ представља скуп алата и технологија који пружају заједничку платформу за сарадњу свих учесника у животном циклусу производа и усмерава проток информација у свим фазама животног циклуса производа. Међутим, оно што ПЛМ разликује од многих других технолошких решења нису само ови алати и технологије. Поред тога, кључна ствар коју ПЛМ омогућава је успостављање одрживе корпоративне стратегије због чега се ПЛМ дефинише као стратешки пословни приступ за ефикасно управљање и коришћење корпоративног интелектуалног капитала (Gecevska et al. 2010).

ПЛМ омогућава следеће предности:

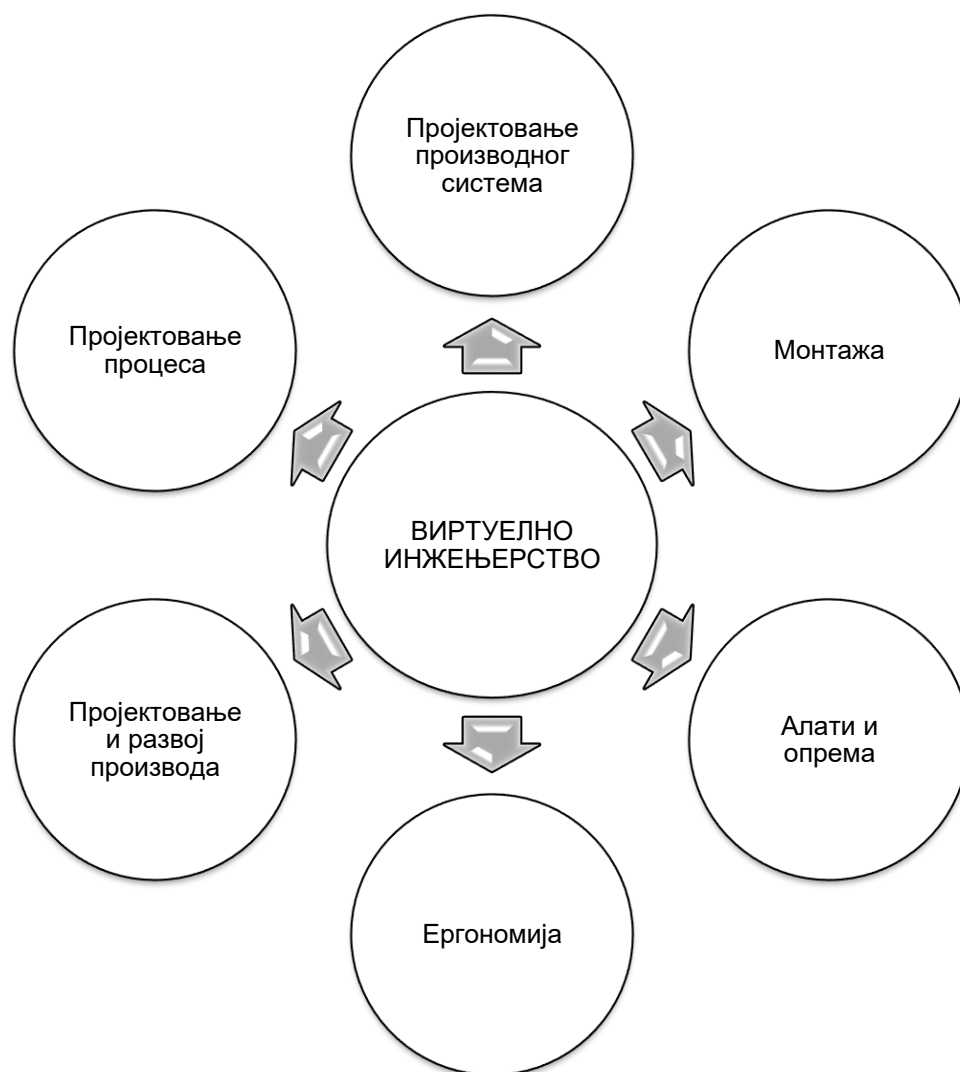
- Управљање садржајем докумената
- Управљање функционалним захтевима
- Управљање саставницама производа, посебно у случају великог броја варијанти производа
- Обједињавање и чување знања у предузећу
- Амбалажа, паковање и бренд менаџмент
- Управљање примедбама и жалбама
- Управљање трошковима производа
- Ефикасно и квалитетно формирање понуда
- Извештаји и анализе везани за производе
- Комуникација у предузећу без обзира на локацију

7.1.8. Виртуелна реалност или симулација за пројектовање или развој производа

Савремени производни системи подразумевају да се подаци о производу уграде у модел производа и могућност једноставног преноса тих података ка другим рачунаром подржаним технологијама. Зависно од врсте производног система, технологије виртуелног инжењерства могу играти значајну улогу у интегрисању информационих технологија које се користе у управљању животним циклусом производа. Виртуелно инжењерство омогућава симулацију различитих активности везаних за пројектовање и производњу компоненти, процес монтаже, контролу квалитета и пружање различитих услуга. Симулације у виртуелном окружењу и размена података у реалном времену о

карактеристикама производа или његовом дизајну су једна од предности савремених производних компанија (Lemi 2014).

Главна улога виртуелног инжењерства је да допринесе смањењу времена развоја производа, пружи подршку инжењерима у процесу доношења одлука, поједностави генерисање алтернативних дизајнерских решења обезбеђујући интерфејс који омогућавају манипулацију 3Д моделима у виртуелном свету, уношење неопходних промена и оптимизацију дизајна уз низак ниво трошкова. Неопходно је да технологије виртуелног инжењерства имају поменуте могућности јер је тестирање на физичким моделима због велике сложености производа скупо и захтева доста времена (Mandić and Ćosić 2011). На Слици 11 су представљени производни процеси на које виртуелно инжењерство има утицај.



Слика 11. Виртуелно инжењерство (Souza, Sacco, and Porto 2006)

Кључне предности примене виртуелног инжењерства су:

- Могућност анализе комплексних система пре стварног пројектовања система
- Повећање агилности и флексибилности
- Тестирање и верификација пројектовања производа и процеса
- Смањење времена за тестирање
- Анализа могућности обраде производа
- Процена и потврђивање изводљивости планова производње
- Оптимизација производног процеса
- Оптимизација перформанси производног система

7.2. Аутоматика и роботика

Савремене производне компаније користе транспортне траке и аутоматизоване монтажне линије. Сврха примене ових елемената у производњи је аутоматизација што је више могуће радно интензивних и опасних операција. На овај начин је могуће повећати продуктивност и квалитет. Циљ је да се монотоне операције или оне које проузрокују умор и стрес постепено замене аутоматизованим. Многи производни процеси укључују компјутеризовану монтажу помоћу робота или флексибилних аутоматизованих производних система, где је ручна монтажа у потпуности замењена машинама (Wilson 2010).

Неке од предности због којих индустријски роботи имају комерцијални и технолошки значај су следећи (Groover 2015):

- Роботи могу заменити људе у опасним или неадекватним радним окружењима
- Робот свој радни циклус може да изведе доследно, понављајући га на идентичан начин далеко ефикасније него што то човек може да постигне
- Након завршетка неког производног процеса робот се може репрограмирати и опремити потребним алатом за обављање других различитих задатака
- Роботи су контролисани од стране рачунара, захваљујући чему се могу повезати са другим рачунарским системима како би се постигла рачунаром интегрисана производња

У овом делу истраживања ће укратко бити представљена два најпримењенија концепта која се односе на аутоматику и роботику:

- Индустијски роботи у производњи
- Индустијски роботи за послове руковања материјалом

7.2.1. Индустијски роботи у производњи

Индустијски роботи у производњи се користе за обављање одређених операција обраде предмета рада. Ове активности подразумевају да робот манипулише алатом у односу на непомични или споро покретни предмет рада. Индустијски роботи у производњи се најчешће користе за:

- Заваривање
- Премазивање
- Бојење
- Сечење

Робот мора да буде у стању да паралелно контролише релативни положај алата у односу на предмет рада и само извођење задате операције. Како би то било могуће реализовати, робот мора бити у могућности да преноси контролне сигнале за покретање, заустављање и друге неопходне операције на сам алат. Приликом неких од примена робота у производњи могуће је да робот користи више различитих алата током радног циклуса. У таквим случајевима робот мора имати могућност за брзу измену алата.

7.2.2. Индустијски роботи за послове руковања материјалом

Приликом примене индустијских робота за послове руковања материјалом, робот премешта материјале или делове производа са једног места на друго. Да би могао да обави пренос, робот је опремљен хватаљком која мора бити дизајнирана на такав начин да је омогућено управљање деловима које је потребно померати. Послови руковања материјалом се односе на (Groover 2015):

- Преношење материјала
- Сортирање
- Паковање
- Палетирање
- Утовар и истовар

Често је у примени робота за руковање материјалима неопходно да делови са којима робот манипулише морају бити постављени у одређеном познатом положају и оријентацији. За овај поступак је потребно обезбедити и додатне уређаје за руковање материјалима који делове постављају у предвиђеном положају и оријентацији.

Роботи се такође користе и у сврхе монтаже производа. Ове операције често подразумевају комбиновање послова руковања и обраде материјала. Примена робота у процесу монтаже је значајна јер су те активности често напорне и монотоне. Са друге стране, монтажа некад подразумева и фина подешавања која роботи тешко могу да изведу. Зато у овом процесу често долази до интеракције људи и машина, како би квалитет реализације операција био на највећем могућем нивоу (Pedersen et al. 2016).

7.3. Адитивне производне технологије

Адитивне производне технологије, такође познате и под називом 3Д штампа, доносе нове начине пројектовања, производње и дистрибуције производа крајњим корисницима. Ове технологије имају способност креирања сложених облика уз употребу различитих материјала. Предности употребе адитивних технологија су (Gao et al. 2015):

- Флексибилност дизајна производа
- Повећавање сложености производа без додатних трошкова
- Прецизност у изради
- Производња без монтаже
- Ефикасност и економичност у производњи

Два основна облика примене 3Д штампе која ће бити представљена у овом делу истраживања се односе на:

- Технологију 3Д штампе за израду прототипа, показних модела и пробне производње
- Технологију 3Д штампе за производњу производа, компоненти, облика и алата

7.3.1. Технологија 3Д штампе за израду прототипа, показних модела и пробне производње

Израда прототипа представља веома важан део процеса развоја производа. У раним фазама употребе 3Д штампе, најчешћа примена је била управо за

израду прототипа. Употребом 3Д штампе могуће је произвести функционалне делове у малим производним количинама. Делови произведени на овај начин су према прецизности израде и квалитету обрађених површина на нижем нивоу од оних израђених стандардним начинима обраде. Произведени делови применом 3Д штампе уз одговарајућу додатну обраду могу достићи квалитет и својства блиска коначном производу. Најважнија предност израде делова применом 3Д штампе се огледа у чињеници да је прототип доступан у значајно краћем периоду у поређењу са стандардним начинима обраде (Chua, Leong, and Lim 2010).

7.3.2. Технологија 3Д штампе за производњу производа, компоненти, облика и алата

Нове могућности примене 3Д штампе се појављују како се развијају нови материјали и методе. Један од главних покретача да ова технологија постане доступнија приписује се истеку старијих патената, који је произвођачима дао могућност развоја нових уређаја за 3Д штампу. Недавна достигнућа су смањила трошкове 3Д штампача и тако проширила његову примену у производним системима. Као што је напоменуто, на почетку се 3Д штампа интензивно користила за израду прототипа због уштеде времена и смањења трошкова. Употреба 3Д штампе је минимизирала додатне трошкове који настају у процесу развоја производа. Међутим, тек у последњих неколико година се 3Д штампа почела користити за производњу производа, компоненти, облика и алата. Савремени трендови у производњи који подразумевају кастомизацију производа представљају изазов за произвођаче због високих трошкова производње производа прилагођених крајњим корисницима. Управо у оваквим случајевима 3Д штампа има значајну улогу јер омогућује производњу малих количина кастомизованих производа уз релативно ниске трошкове. Из тог разлога кастомизовани производи тренутно постају тренд 3Д штампања (Berman 2012).

7.4. Технологије за енергетску ефикасност

Енергија представља неопходан елемент у процесу производње производа. У последње време се компаније све више сусрећу са изазовом да учине производњу производа и потрошњу ресурса одрживим. Развој чистијих, енергетски ефикаснијих технологија може играти значајну улогу у ограничавању утицаја на животну средину који су повезани са индустријом, истовремено повећавајући продуктивност и смањујући трошкове производње. Потреба за

енергијом за производњу производа повезана је са обимом производње као и са ефикасношћу опреме која се користи у производним процесима. Такође, постоје различите могућности за постизање енергетске ефикасности у производним системима (Worrell et al. 2002). Како би се омогућила рационализација потрошње енергије у производним системима предлаже се примена следећих технолошких концепта:

- Технологије за рециклажу и поновну употребу воде у производним системима
- Технологије за поновну употребу кинетичке енергије или енергије из производње

Примена ова два технолошка концепта доприноси квалитетном енергетском менаџменту који гарантује одрживост производних компанија у смислу енергетске и еколошке ефикасности. Примена ових технологија на директан или индиректан начин доприноси унапређењу продуктивности и квалитета производа (Medojevic et al. 2019).

8. Вишекритеријумско одлучивање

Процес доношења одлука који подразумева постојање већег број критеријума на основу којих се одлучује укључује низ корака: идентификовање проблема, конструисање преференција, евалуација алтернатива и одређивање најприхватљивијих алтернатива (Hershauer and Simon 1978).

Доношење одлука је крајње интуитивно када се разматрају проблеми на основу само једног критеријума, јер је једини задатак избор алтернативе са највећом преференцијом по датом критеријуму. Међутим, када доносилац одлуке треба да донесе одлуку на основу већег броја критеријума, појављују се различити проблеми попут дефинисања важности критеријума, зависности између елемената и различитих конфликта међу критеријумима. Како би се превазишли ови проблеми потребна је примена софистицираних метода за доношење одлука. У циљу решавања проблема вишекритеријумског одлучивања, постоји одређен број корака које је потребно реализовати. Први корак се односи на адекватну идентификацију проблема и дефинисање атрибута, односно критеријума на основу којих се долази до решења проблема. Затим, неопходно је прикупити одговарајуће податке или информације на основу којих ће доносилац одлуке јасно моћи да искаже своје преференције. Након тога је потребно утврдити скуп могућих алтернатива или стратегија које

омогућавају реализацију циља. И на крају, потребно је утврдити одговарајуће методе које ће обезбедити адекватан избор међу алтернативама.

У оквиру вишекритеријумског одлучивања проблеми се могу сврстати у две главне категорије на основу различите сврхе примене и врсте података:

- Вишеатрибутивно одлучивање
- Вишециљно одлучивање

Вишеатрибутивно одлучивање се примењује у процесу евалуације, где сама поставка проблема подразумева ограничен број унапред дефинисаних алтернатива и критеријума на основу којих се доноси одлука. Вишециљно одлучивање се примењује када је крајњи исход постизање оптималних или жељених циљева узимајући у обзир различите интеракције у оквиру датих ограничења (Hwang and Yoon 1981).

Уопштено говорећи, процедура метода за вишеатрибутивно одлучивање се може представити у следећих пет корака (Dubois and Prade 1980):

- Дефинисање природе проблема
- Конструисање хијерархијске структуре за евалуацију проблема
- Одабир одговарајућег модела за евалуацију
- Утврђивање релативне тежине сваког атрибута у односу на сваку алтернативу
- Утврђивање редоследа алтернатива према преференцијама доносиоца одлуке

Треба напоменути да стандардне методе вишекритеријумског одлучивања подразумевају потпуну извесност у процесу доношења одлуке у погледу података са којима се располаже, што доноси недостатке када говоримо о реалним проблемима код којих постоји одређен степен неизвесности. Управо из овог разлога се у процес одлучивања уводи и примена фази логике како би се решио проблем неизвесности у процесу доношења одлуке (Zadeh 1965).

8.1. Стандардне методе

У различитим истраживањима су коришћене бројне методе за вишекритеријумско одлучивање у зависности од потреба самог истраживања. У овом делу ће бити представљено неколико стандардних метода које су најзаступљеније у истраживањима, како би се стекао утисак какви све проблеми и на који начин могу да се решавају применом метода за вишекритеријумско

одлучивање. Методе које су представници различитих приступа у решавању проблема које ће бити представљене у овом делу истраживања су:

- AHP (*енг. Analytic Hierarchy Process* / ANP (*енг. Analytic Network Process*))
- TOPSIS (*енг. Technique for Order Preferences by Similarity to an Ideal Solution*)
- VIKOR (*VišeKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*)
- ELECTRE (*енг. ELimination Et Choice Translating REality*)
- PROMETHEE (*енг. Preference Ranking Organization METHods for Enrichment Evaluations*)

8.1.1. AHP/ANP

На основу процедуре метода вишекритеријумског одлучивања предложена је метода АНП како би се дефинисале релативне тежине у складу са одговарајућим хијерархијским системом у ком је проблем представљен. АНП метода представља ефикасан алат за суочавање са сложеним процесом доношењем одлука и може помоћи доносиоцу одлуке да постави приоритете и донесе најприхватљивију одлуку. Сложеност процеса одлучивања се смањује разлагањем проблема у хијерархијску структуру и увођењем поређења елемената хијерархијског система, на основу ког се генеришу резултати. АНП метода обухвата и субјективне и објективне аспекте одлуке. Поред тога, АНП метода садржи корисну технику за проверу конзистентности доносиоца одлука приликом поређења елемената система, чиме се смањује пристрасност у процесу доношења одлука. АНП метода узима у обзир скуп критеријума за евалуацију и скуп алтернатива између којих треба донети одлуку која је најприхватљивија. АНП метода утврђује тежину, односно важност сваког критеријума на основу ког се пореде алтернативе тако што доносилац одлуке упоређује сваки критеријум са сваким. У те сврхе се користи Сатијева скала девет тачака представљена у Табели 1.

Табела 1. Скала девет тачака (Џурић and Суковић 2008)

Скала	Објашњење / Рангирање
9	Апсолутно најзначајније / најпожељније
8	Веома снажно ка апсолутно најзначајнијем / најпожељнијем
7	Веома снажно ка веома значајном / пожељном
6	Снажно ка веома снажном
5	Снажније више значајно / пожељно
4	Слабије ка више снажнијем
3	Слабије више значајно / пожељније
2	Подједнако ка слабијем више
1	Подједнако значајно / пожељно
0.50	Подједнако ка слабијем мањем
0.33	Слабије мање значајно / пожељно
0.25	Слабије ка снажно мањем
0.20	Снажно мање значајно / пожељно
0.17	Снажно ка веома снажно / мањем
0.14	Изузетно снажно мање значајно / пожељно
0.13	Веома снажно ка апсолутно мањем
0.11	Апсолутно најмање значајно / пожељно

Што је већа тежина, то је одговарајући критеријум важнији. Након тога, за сваки критеријум, АНР метода по истом принципу додељује вредност свакој алтернативи на основу међусобног поређења свих алтернатива од стране доносиоца одлука према одређеном критеријуму. Што је вредност већа, то је алтернатива прихватљивија у односу на разматрани критеријум. На крају, АНР метода комбинује тежине критеријума и додељене вредности алтернативама, утврђујући на тај начин укупну вредност за сваку алтернативу на основу чега се алтернативе рангирају (Saaty 1980).

АНР метода функционише по истим принципима, само што је у питању мрежна, а не хијерархијска структура проблема (Saaty 1996). Обе ове методе су најпогодније за примену када поредимо алтернативе коришћењем квалитативних вредности. Због својих карактеристика, АНР метода је најчешће коришћена метода за вишекритеријумско одлучивање у научним истраживањима. Примена ове методе је додатно значајна када се зна да се

она, најчешће користи и у хибридниим методама које комбинују две или више метода за вишекритеријумско одлучивање (Mardani et al. 2015).

8.1.2. TOPSIS

TOPSIS метода припада групи вишекритеријумских метода заснованих на компромисном рангирању (*енг. Compromise ranking methods*) (Hwang and Yoon 1981). Основни принцип ове методе се односи на рангирање алтернатива у зависности од удаљености од идеалног и негативног идеалног решења. Најприхватљивија је она алтернатива која је најближа идеалном решењу, а најдаља од негативног идеалног решења.

Предности употребе TOPSIS методе се односе на следеће елементе (Рамуџар 2017):

- Метода је математички једноставна
- Ранг алтернатива је јасно нумерички изражен и дефинисан
- Применљива када проблем садржи велики број алтернатива и/или критеријума
- Могу се користити и квалитативно и квантитативно описани критеријуми

Недостаци приликом употребе TOPSIS методе су следећи (Рамуџар 2017):

- Решење проблема директно зависи од улазних параметара
- Неопходно је да се изврши нормализација како би алтернативе могле бити вредноване
- Не постоји могућност израчунавања тежинских коефицијената критеријума
- Приликом прорачуна се не узима у обзир релативно растојање од идеалног и негативног идеалног решења

8.1.3. VIKOR

VIKOR метода је још једна од често коришћених метода која припада групи вишекритеријумских метода заснованих на компромисном рангирању (S Opricovic 1998). VIKOR метода као основну меру за избор најприхватљивије алтернативе користи близину идеалном решењу. Ова метода је примарно развијена за решавање комплексних проблема. Као резултат примене VIKOR методе доносилац одлуке има увид у ранг листу алтернатива на основу које може изабрати компромисно решење (Serafim Opricovic and Tzeng 2004).

VIKOR методу одликују следеће предности при употреби (Ратућар 2017):

- Једноставна за употребу
- Применљива када проблем садржи велики број алтернатива и/или критеријума
- Ранг алтернатива је јасно нумерички изражен и дефинисан
- Могу се користити и квалитативно и квантитативно описани критеријуми
- При прорачунима узима у обзир релативна растојања од идеалног решења

Недостаци приликом употребе VIKOR методе су следећи (Ратућар 2017):

- Неопходно је да се изврши нормализација како би алтернативе могле бити вредноване
- Не постоји могућност израчунавања тежинских коефицијената критеријума

8.1.4. ELECTRE

ELECTRE је једна од првих метода развијених у сврхе вишекритеријумског одлучивања (Benayoun, Roy, and Sussman 1966). Њен главни допринос је у решавању проблема код којих не постоји могућност одређивања строге доминације једне акције над другом (Џурић 1987). Најчешће се у литератури користи метода ELECTRE I, иако су развијене и неке варијације ове методе које подразумевају одређену надоградњу методе засновану на сличним принципима: ELECTRE II, ELECTRE III и ELECTRE IV (Anojkumar, Ilankumaran, and Sasirekha 2014).

ELECTRE припада групи метода вишег реда (*енг. Outranking methods*) и заснива се на поређењу алтернатива у паровима.

Предности примене ELECTRE методе су (Ратућар 2017):

- Методу је могуће применити и у случајевима када неке информације недостају
- Несигурност приликом вредновања алтернатива је узета у обзир
- Вредновање алтернатива је могуће без процеса нормализације
- Могу се користити и квалитативно и квантитативно описани критеријуми

Са друге стране, метода ELECTRE има и одређене недостатке (Ратућар 2017):

- Због сложености методе постоји могућност да процедура и резултати буду тешко разумљиви
- Не постоји могућност израчунавања тежинских коефицијената критеријума
- Одређује ранг алтернатива без нумеричких вредности које би омогућиле боље разумевање разлика између алтернатива
- Повећање броја алтернатива значајно повећава број израчунавања

8.1.5. PROMETHEE

PROMETHEE метода спада у групу метода вишег реда која се заснива на поређењу алтернатива у паровима по сваком критеријуму са основним циљем утврђивања доминације међу алтернативама. Примарно су развијене две варијанте методе, PROMETHEE I за делимично рангирање алтернатива и PROMETHEE II за потпуно рангирање алтернатива (Brans 1982). Поред ове две основне варијанте методе, током времена су се развијале и неке унапређене верзије за решавање специфичних проблема: PROMETHEE III, PROMETHEE IV, PROMETHEE V, PROMETHEE VI и PROMETHEE GAIA. У научним истраживањима се најчешће примењује PROMETHEE II метода за потпуно рангирање алтернатива (Behzadian et al. 2010).

Предности примене PROMETHEE методе се огледају у њеним следећим карактеристикама (Ћипић and Suknović 2008):

- Једноставност при употреби
- Вредновање алтернатива је могуће без процеса нормализације
- Могу се користити и квалитативно и квантитативно описани критеријуми
- Параметри који се користе при евалуацији имају јасан значај за доносиоца одлуке
- Ранг алтернатива је јасно нумерички изражен и дефинисан
- Могућност визуелног приказа резултата ради бољег разумевања односа између алтернатива
- Доносилац одлуке је у блиском односу са проблемом који решава током целог процеса
- Могућност извођења анализе осетљивости

Метода PROMETHEE има и одређене недостатке (De Keyser and Peeters 1996):

- Не постоји могућност израчунавања тежинских коефицијената критеријума
- Процедура утврђивања преференција је тешко разумљива

8.2. Фази логика у вишекритеријумском одлучивању

Неизвесност представља битан фактор који утиче на процес одлучивања. Из тог разлога је веома важно узети у обзир потенцијално постојање неизвесности у решавању реалних проблема одлучивања. Постоје различити начина третирања неизвесности у процесима одлучивања. У вишекритеријумском одлучивању се у ове сврхе најчешће примењује фази логика. Применом фази логике је могуће поузданије моделирање различитих процеса у којима се појављује субјективност, неодређеност или неизвесност (Zadeh 1965). Фази логика се у вишекритеријумском одлучивању користи када неодређеност настаје услед непрецизности у комуникацији, односно у условима постојања непрецизних информација.

Примена фази логике у процесу вишекритеријумског одлучивања долази до изражаја када су улазне променљиве квалитативно описане. Квалитативни описи појава се најчешће могу сматрати непрецизним, јер у себи садрже одређен степен субјективности. Чак и у случајевима када две различите особе на исти начин опишу неку појаву, то не значи да су је на исти начин доживели. Осим тога, процес квантификације квалитативних атрибута, који је неопходан у вишекритеријумском одлучивању, такође у одређеној мери додаје непрецизности информација са којима се располаже. Како би се превазишао овај проблем, квантитативним атрибутима се додаје одређени степен припадности употребом фази бројева, који могу бити троугласти (сачињени од три вредности) и трапезоидални (сачињени од четири вредности). Цео процес одлучивања се реализује уз употребу фази бројева, док се у финалној фази врши дефазификација, односно избор једне вредности излазне величине коришћем одговарајућих принципа предвиђених за овај процес (Ћипић and Suknović 2008). Употреба фази логике у процесима одлучивања обезбеђује сигурније и поузданије резултате на основу којих је и одлука која се доноси квалитетнија.

8.3. Вишекритеријумско одлучивање у прерађивачком сектору

Прерађивачки сектор представља један од најважнијих елемената за развој и напредак индустријских земаља. Степен производних активности у једној земљи директно је повезан са њеним економским стањем. Генерално говорећи, што је виши ниво производних активности у некој земљи, то је виши стандард живота становништва.

Производња се може дефинисати као примена механичких, физичких и хемијских процеса ради модификације облика, својстава и изгледа датог полазног материјала у функцији креирања делова или финалних производа. Овај процес укључује све посредне активности потребне за производњу и интеграцију компонената производа. Ефикасност реализације производних процеса одређује успех компаније. Врста производње коју обавља компанија зависи од врсте производа које производи. Производња укључује међусобно повезане активности које укључују пројектовање производа и документацију, избор материјала, планирање процеса, производњу, осигурање квалитета, управљање и пласирање финалног производа на тржиште. Све ове активности је неопходно интегрисати како би компанија располагала конкурентним производима на тржишту.

Технологије производње су због константих промена на тржишту непрестано пролазиле кроз постепене, али револуционарне промене. Као што је већ напоменуто, примена напредних производних технологија је довела до значајних промена у индустрији на светском нивоу. Компаније прерађивачког сектора су из тог разлога приморане да се прилагоде овим променама како би постале флексибилније и динамичније у свом пословању.

Да би се суочили са изазовима проистеклим променама на тржишту и модернизацијом производње, производне компаније морају одабрати одговарајуће производне стратегије, пројектовање производа, производне процесе, материјале и алате, машине и опрему, итд. Процес одлучивања је у овим условима све сложенији, јер је доношење одлука постало изузетно изазовно. Неопходни услови за доношење ефикасних одлука се састоје у разумевању тренутних и будућих догађаја, као и фактора који утичу на целокупно производно окружење, у истраживању природе процеса одлучивања и могућности различитих врста метода и техника, и на крају у одговарајућем

структурирању одлуке заснованом на широком спектру питања која се односе на пројектовање, планирање и управљање производним системима.

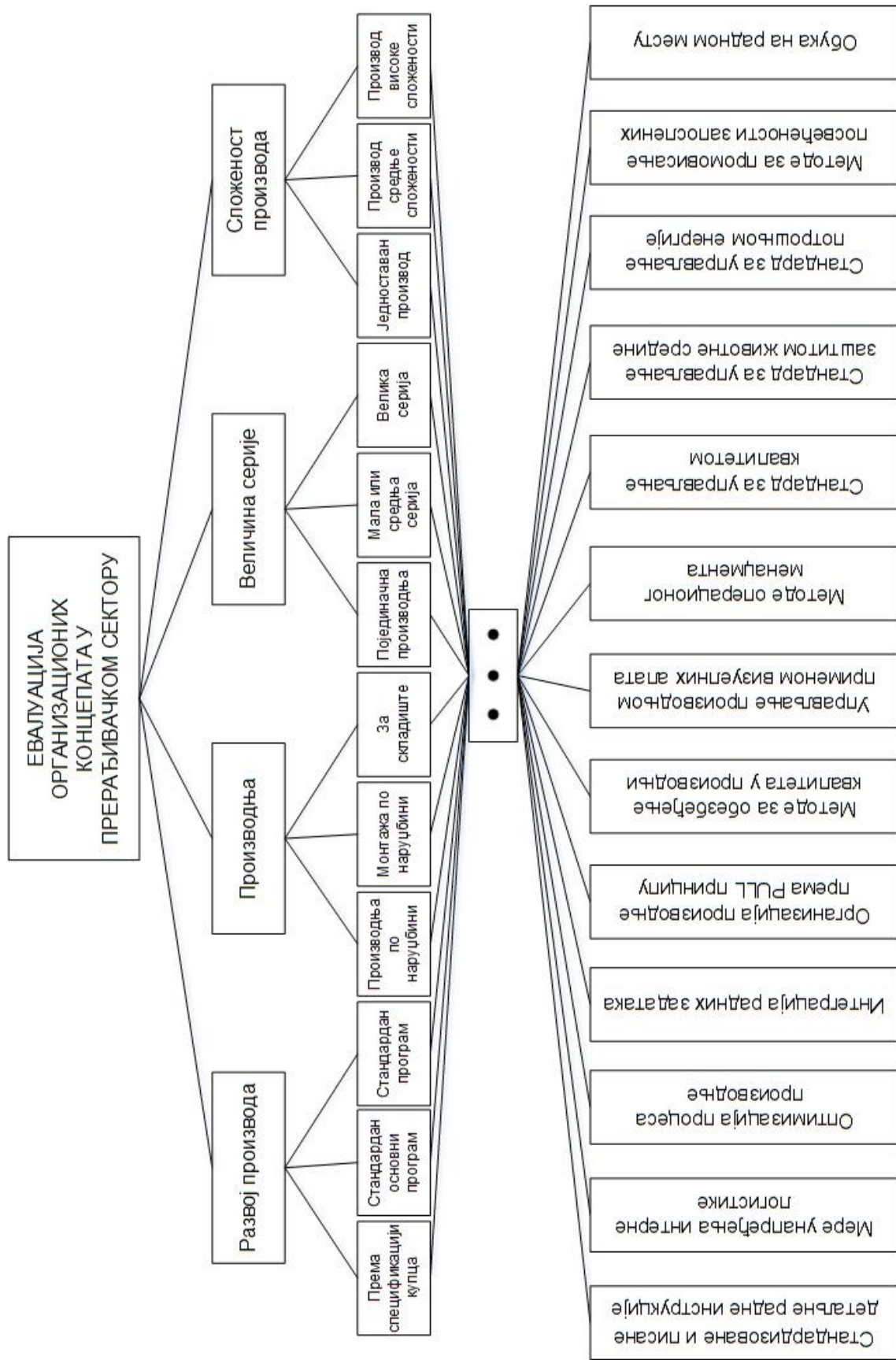
Доносиоци одлука у производном сектору често се суочавају са проблемом евалуације великог броја алтернатива и избора најприхватљивијих опција на основу одређеног броја критеријума. У наставку су наведене неке од кључних ситуација у којима је потребно доношење одлука дефинисано на поменути начин (Рао 2007):

- Евалуација и избор флексибилних производних система
- Евалуација различитих могућности пројектовања производа
- Избор добављача у оквиру ланца снабдевања
- Избор материјала за одређену примену
- Избор опреме за руковање материјалима
- Евалуација и избор савремених метода обраде материјала
- Избор робота за индустријску примену
- Избор аутоматизованих система за контролу процеса
- Избор начина израде прототипа при развоју производа
- Избор софтверских решења за пројектовање и производњу производа
- Избор одговарајућег поступка заваривања за одређени посао
- Евалуација еколошки прихватљивих производних програма
- Процена утицаја производње на животну средину
- Процена ризика у зеленој производњи
- Избор најбољег сценарија за крај животног циклуса производа
- Избор локације производних постројења

9. Концептуални модел истраживања

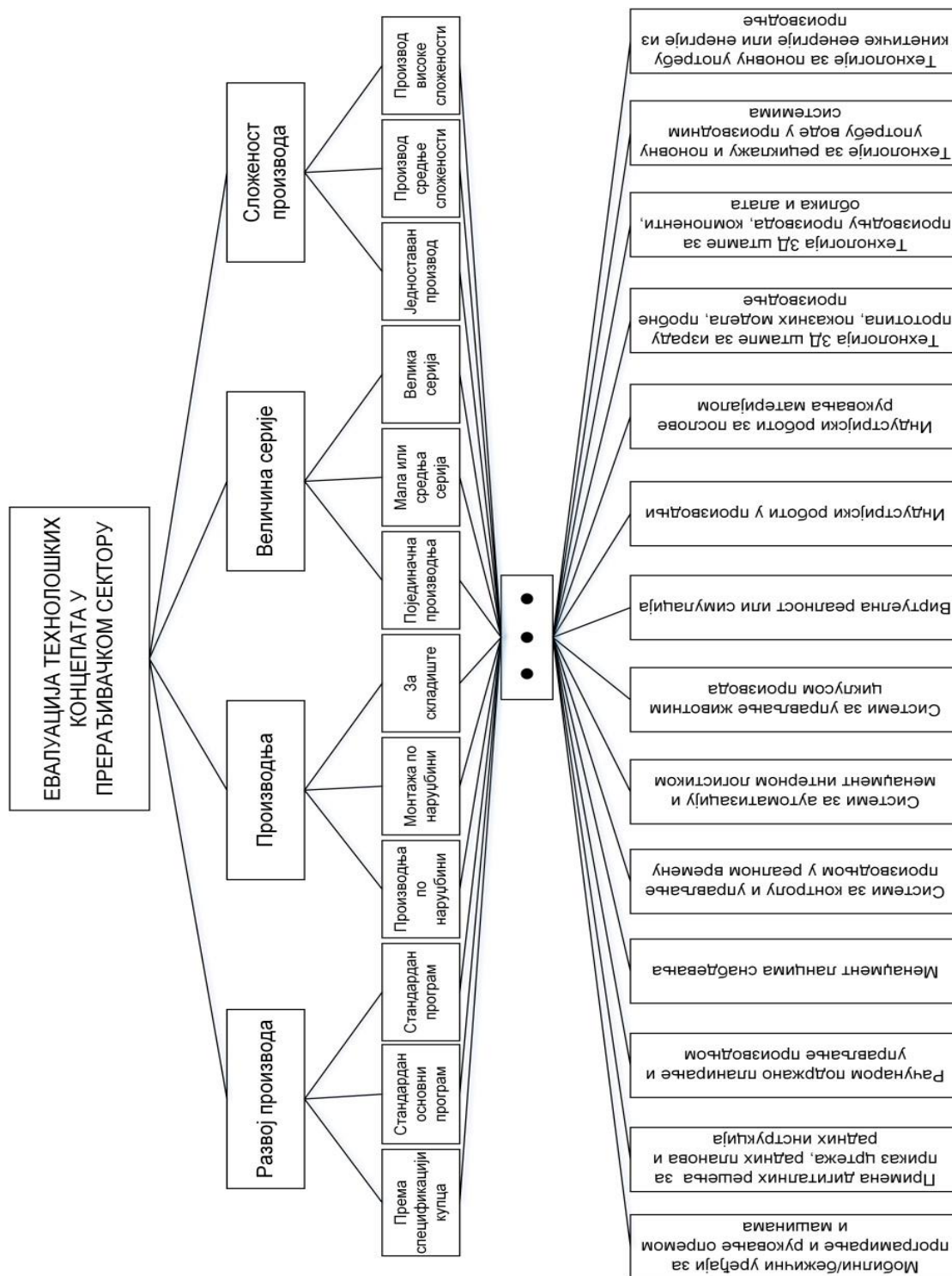
На основу теоријских основа дефинисаних кроз преглед литературе из области истраживања развијен је истраживачки модел који је дефинисан са циљем давања одговора на постављене истраживачке хипотезе представљене у Поглављу 3.1.

Како би дали одговор на постављене хипотезе развијена су два модела, у циљу давања одговора на хипотезе Х2 и Х3 са њиховим пратећим помоћним хипотезама. Одговарајући истраживачки модел који се односи на хипотезу Х2 и пратеће помоћне хипотезе које иду уз њу представљен је на Слици 12.



Слика 12. Модел за евалуацију организационих концепата

На Слици 13 дат је истраживачки модел развијен са циљем давања одговора на хипотезу Х3 и пратеће помоћне хипотезе које иду уз њу.



Слика 13. Модел за евалуацију технолошких концепата

Након примене модела ће се одређеним анализама проверити валидност модела на основу чега ће бити дат одговор на хипотезу Х1. На основу добијених резултата ће бити спроведена статистичка анализа како би добили одговор на хипотезу Х4.

III. ИСТРАЖИВАЧКИ ДЕО

10. Методологија

У овом делу истраживања ће бити дат преглед и опис метода које су коришћене за потребе истраживања, као и начина прикупљања података неопходних за спровођење истраживања.

10.1. Примењене методе за вишекритеријумско одлучивање

На основу прегледа литературе и постављених теоријских подлога утврђено је да методе за вишекритеријумско одлучивање представљају стандардан алат у истраживањима везаним за прерађивачки сектор која у себи садрже процес евалуације, рангирања или сортирања. Од појединачних метода се најчешће користи АНР метода. Ова метода посебно добија на значају и због чињенице да је најприсутнија када говоримо о хибридним методама за вишекритеријумско одлучивање, које подразумевају комбинацију више метода (Mardani et al. 2015). Ипак, због чињенице да је ово истраживање примарно засновано на квантитативним подацима, а АНР метода се најчешће користи за решавање проблема који су представљени квалитативно, потребно је пронаћи одговарајућу методу која више одговара постављеном проблему. То не значи да ће АНР метода бити потпуно искључена из овог истраживања, јер као што је напоменуто она се често комбинује са другим методама како би се предности различитих метода искористиле на најбољи могући начин. АНР метода се најчешће користи у комбинацији са методама PROMETHEE, TOPSIS и VIKOR (Mardani, Jusoh, and Zavadskas 2015). TOPSIS и VIKOR су методе које припадају групи вишекритеријумских метода заснованих на компромисном рангирању које су предвиђене за проблеме избора најприхватљивије алтернативе на основу удаљености од идеалног решења. Са друге стране, PROMETHEE метода спада у групу метода вишег реда која се заснива на поређењу алтернатива у паровима по сваком критеријуму са основним циљем утврђивања доминације међу алтернативама (Hwang and Yoon 1981). За евалуацију организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору важније је да се утврди доминација међу алтернативама кроз њихово поређење у паровима, него проналажење најприхватљивијих алтернатива на основу удаљености од идеалног решења. У овом конкретном истраживању, утврђивање удаљености алтернатива од идеалног решења, као принцип за њихову евалуацију, не

представља добар приступ, јер у овој фази истраживања идеално решење представља непознаницу због које је оно и покренуто. У складу са претходно наведеним, за потребе овог истраживања користиће се PROMETHEE метода. У PROMETHEE методи не постоји предвиђена процедура за утврђивање тежинских коефицијената критеријума, него се подразумева да је доносилац одлуке у стању да на одређен начин утврди важност критеријума. Из овог разлога, PROMETHEE метода се веома често комбинује са АНР методом која у овом случају служи за одређивање тежинских коефицијената критеријума (Macharis et al. 2004). Поред тога, у процес одређивања тежинских коефицијената критеријума применом АНР методе се уводи фази логика како би се смањила неодређеност и непрецизност у процени доносиоца одлуке приликом утврђивања важности критеријума на основу којих се доноси одлука (P.J.M. van Laarhoven and W. Pedrycz 1983).

У наставку овог поглавља ће бити објашњене процедуре метода за вишекритеријумско одлучивање које ће бити коришћене у овом истраживању.

10.1.1. АНР

АНР метода се заснива на поређењу елемената модела одлучивања у паровима користећи скалу девет тачака. Употреба целих бројева за упоређивање у традиционалној АНР методи се сматра недовољно добрим и непрецизним приступом због нејасноће и несигурности процене доносиоца одлуке (Kumar et al. 2017). Поред тога, мишљење доносиоца одлука се обично изражава речима, односно квалитативно. Као резултат тога, фази логика која се управо бави проблемима субјективности и неизвесности уведена је у поступак упоређивања у АНР методи како би се превазишао овај недостатак. Теорија фази скупова заснива се на идеји да елементи имају степен припадности неком скупу вредности (Zimmermann 1985). У фази логици се најчешће користе монотони, троугласти и трапезоидни фази бројеви (Taha and Rostam 2011). Троугласти фази бројеви се најчешће користе у истраживањима у којима се употребљавају методе за вишекритеријумско одлучивање због њихове прилагођености природи лингвистичких евалуација доносиоца одлука (Patil and Kant 2014). Троугласти фази бројеви ће се користити и у овом истраживању из тог разлога. Функција припадности троугластих фази бројева је дефинисана на следећи начин:

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} 0, & x < l \text{ or } x > u \\ \frac{x-l}{m-l}, & l \leq x \leq m \\ \frac{u-x}{u-m}, & m \leq x \leq u \end{cases} \quad (1)$$

Где l и u представљају доњу и горњу границу, а m представља највероватнију вредност фази броја.

Начин извођења математичких операција над фази бројевима је следећи (Hwang and Yoon 1981):

Сабирање два фази броја:

$$(l_1, m_1, u_1) + (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

Одузимање два фази броја:

$$(l_1, m_1, u_1) - (l_2, m_2, u_2) = (l_1 - l_2, m_1 - m_2, u_1 - u_2) \quad (3)$$

Множење два фази броја:

$$(l_1, m_1, u_1) \times (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (4)$$

Дељење два фази броја:

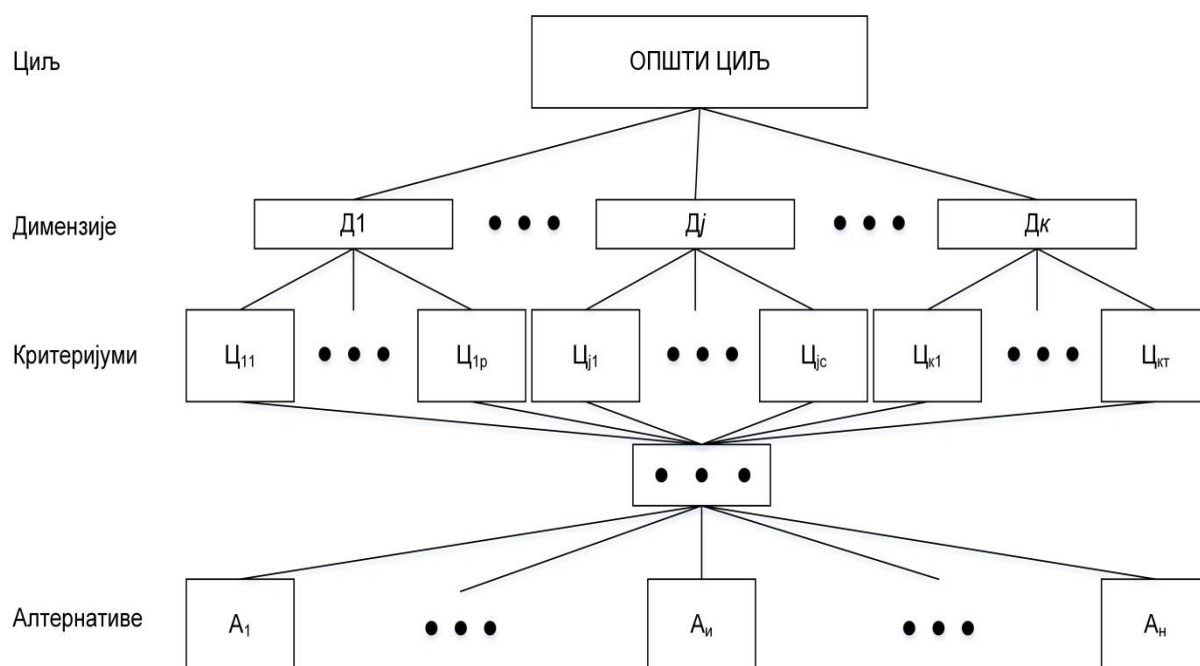
$$(l_1, m_1, u_1) / (l_2, m_2, u_2) = (l_1/u_2, m_1/m_2, u_1/l_2) \quad (5)$$

Инверзија два фази броја:

$$(l, m, u)^{-1} = (1/u, 1/m, 1/l) \quad (6)$$

Процедура фази АНР-а је следећа:

Корак 1: Комплексан проблем одлучивања је структуриран хијерархијски као на Слици 14.



Слика 14. Хијерархијска структура проблема (Hwang and Yoon 1981)

Корак 2: Лингвистичко поређење критеријума се трансформише у фази бројеве. У Табели 2 је представљена скала за превођење лингвистичких поређења критеријума у троугласте фази бројеве (Ahoj Kumar, Ilankumaran, and Sasirekha 2014).

Табела 2. Функција припадности фази бројеве

Скала	Фази број	Вредност фази броја (l, m, u)	Реципрочна вредност фази броја ($1/u, 1/m, 1/l$)
Идентично		(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
Једнака важност	M1	(1, 1, 3)	(0.33, 1, 1)
Блага преференција	M3	(1, 3, 5)	(0.2, 0.33, 1)
Значајна преференција	M5	(3, 5, 7)	(0.14, 0.2, 0.33)
Веома значајна преференција	M7	(5, 7, 9)	(0.11, 0.14, 0.2)
Екстремна преференција	M9	(7, 9, 9)	(0.11, 0.11, 0.14)
Међувредности	M2, M4, M6, M8		

Корак 3: На основу информација добијених поређењем критеријума у паровима може се формирати фази позитивна реципрочна матрица.

$$\tilde{A}_{n \times n} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & \cdots & n \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \cdots & \tilde{a}_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix}, a_{ii} = 1, a_{ji} = 1/a_{ij}, a_{ij} \neq 0 \quad (7)$$

Корак 4: Одређивање фази тежинског коефицијента за сваки од критеријума у моделу.

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \times (\tilde{r}_1 + \tilde{r}_2 + \cdots + \tilde{r}_n)^{-1} \quad (8)$$

где је

$$\tilde{r}_i = (\tilde{a}_{i1} \times \tilde{a}_{i2} \times \cdots \times \tilde{a}_{in})^{1/n} \quad (9)$$

Корак 5: Утврђивање конзистентности приликом поређења критеријума у паровима. Како би се утврдило колики је степен конзистентности (CR), прво је потребно израчунати индекс конзистентности (CI) који се израчунава на следећи начин:

$$CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) \quad (10)$$

где λ_{max} представља највећу сопствену вредност матрице (енг. *largest eigenvalue*), а n представља величину матрице. Након тога се CR израчунава на следећи начин:

$$CR = CI/RCI \quad (11)$$

где RCI представља случајни индекс. Случајни индекс се дефинише у зависности од величине матрице. Вредности случајног индекса у зависности од величине матрице су дате у Табели 3.

Табела 3. Вредности случајног индекса у зависности од величине матрице

n	3	4	5	6	7	8	9	10
RCI	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Конзистентност приликом поређења критеријума у паровима се сматра прихватљивом уколико израчунати степен конзистентности има вредност 0.1 или мању. Другим речима, прихватљиво је да је недоследност у поређењу до 10%. Уколико је вредност степена конзистентности већа од прихватљиве вредности, сматра се да поређење није реализовано на адекватан начин и

неопходно је да се процес поређења преиспита и уколико је неопходно унапреди или чак понови.

Корак 6: Дефазификација тежинских коефицијената за сваки од критеријума у моделу. За сврхе дефазификације тежинских коефицијената у овом истраживању се користи Јагеров индекс (Yager 1981):

$$\tilde{F} = (n - a, n, n + b) = (3n - a + b)/3 \quad (12)$$

Након што се дефинишу тежински коефицијенти критеријума применом фази АНП-а, примењује се PROMETHEE метода за евалуацију организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору.

10.1.2. PROMETHEE

PROMETHEE метода спада у групу метода вишег реда која се заснива на поређењу алтернатива у паровима по сваком критеријуму, са основним циљем утврђивања доминације међу алтернативама. Највећи број истраживача користи PROMETHEE II методу у својим истраживањима, с обзиром да ова верзија методе омогућава потпуно рангирање алтернатива, у односу на PROMETHEE I методу која је прикладна само за делимично рангирање алтернатива (Brans 1982). За примену PROMETHEE II методе је потребно дефинисати две врсте информација за сваки критеријум: тежински коефицијент и општи тип критеријума. Тежински коефицијенти критеријума у овом истраживању су дефинисани применом FAHP методе. Општи тип критеријума служи да преведе разлике између алтернатива по сваком критеријуму утврђене у процесу поређења на интервал од нула до један [0,1]. У PROMETHEE II методи постоји шест општих типова критеријума: обичан критеријум, квази критеријум, критеријум са линеарном преференцијом, ниво критеријум, критеријум линеарне преференције са подручјем индиферентности и критеријум квази-линеарне преференције. Процедура PROMETHEE II методе је следећа (Brans 1982):

Корак 1: Утврђивање функције преференције која служи да преведе разлике између алтернатива утврђене у процесу поређења по сваком критеријуму на интервал од нула до један.

Корак 2: Одређивање одступања на основу поређења алтернатива у паровима.

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (13)$$

где $d_j(a, b)$ представља разлику између евалуација алтернатива a и b по сваком критеријуму.

Корак 3: Примена функције преференције.

$$P_j(a, b) = F_j[d_j(a, b)] \quad j = 1, \dots, k \quad (14)$$

где $P_j(a, b)$ представља преференцију алтернативе a у односу на алтернативу b по сваком критеријуму као функцију од $d_j(a, b)$.

Корак 4: Израчунавање индекса преференције.

$$\forall a, b \in A, \quad \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b) w_j \quad (15)$$

где је $\pi(a, b)$ алтернативе a у односу на алтернативу b дефинисана као пондерисана сума $p(a, b)$ по сваком критеријуму, а w_j представља тежински коефицијент којим доносилац одлуке изражава преференцију, односно релативну важност j -ог критеријума.

Корак 5: Израчунавање позитивног и негативног тока.

$$\phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (16)$$

$$\phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (17)$$

где $\phi^+(a)$ представља позитивни ток, а $\phi^-(a)$ негативни ток за сваку алтернативу у моделу.

Корак 6: Израчунавање чистог тока

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a) \quad (18)$$

Корак 7: Одређивање ранга свих алтернатива представљених у моделу у зависности од вредности $\phi(a)$. Већа вредност $\phi(a)$ подразумева бољи ранг алтернативе.

10.2. Процедура прикупљања података

За сврхе овог истраживања су коришћени подаци прикупљени у оквиру пројекта Истраживање европских производних потенцијала (енг. *European*

Manufacturing Survey). EMC (*European Manufacturing Survey*) је организован од стране конзорцијума истраживачких института и универзитета из различитих делова Европе од 2001. године. Пројектом руководи Институт Фраунхофер за истраживање у области система и иновација из Карлсруеа, Немачка. EMC истражује коришћење техно-организационих иновација у производњи, на нивоу компаније, и на тај начин могућа унапређења перформанси у прерађивачком сектору. Ово истраживање је засновано на упитнику чији је садржај дефинисан на основу прегледа литературе и мишљења експерата из привреде, академије и чланова конзорцијума.

Основна идеја приликом дефинисања питања је да постоји заједнички део питања која се примењују кроз неколико кругова истраживања, док се одређен број питања модификује у одговарајућем кругу испитивања у складу са актуелним проблемима и темама из области иновација у производњи. На крају, води се рачуна да у упитнику остане простора за одређен број питања која су специфична за одређену земљу или за одређени пројекат која нису нашла место међу питањима која су заједничка за све земље које учествују у истраживању. Земље, односно институције које учествују у истраживању су следеће:

- Аустрија: Аустријски институт за технологију, Беч
- Хрватска: Универзитет у Загребу, Економски факултет
- Чешка: Економски универзитет у Прагу, Факултет за пословну администрацију
- Данска: Универзитет Јужне Данске, Оденсе
- Немачка: Институт Фраунхофер за истраживање у области система и иновација, Карлсруе
- Италија: Институт за индустријске технологије и аутоматизацију, Милано
- Литванија: Технички универзитет у Каунасу
- Холандија: Универзитет Radboud, Школа за менаџмент, Нијемеген
- Португал: Универзитет у Лисабону, Факултет техничких наука
- Србија: Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департман за индустријско инжењерство и менаџмент
- Словенија: Универзитет у Марибору, Машински факултет
- Словачка: Технички универзитет у Кошицама
- Шпанија: Универзитет у Ђирони, Департман за пословну администрацију и развој производа

- Шведска: Универзитет у Гавлеу, Универзитет у Јончепингу, Универзитет у Лулеи
- Швајцарска: Универзитет у Луцерну, Институт за пословну и регионалну економију

За припрему мултинационалних анализа национални подаци пролазе заједничку процедуру валидације и хармонизације (“European Manufacturing Survey” 2018).

Истраживање се спроводи на сваке три године и обухвата компаније које припадају прерађивачком сектору и имају 20 или више запослених. Приликом дефинисања оквира популације водило се рачуна о пропорционалној заступљености компанија према величини, делатности и округу у ком те компаније послују. Према величини, компаније су подељене у три групе:

- Мала предузећа (мање од 50 запослених)
- Средња предузећа (од 50 до 250 запослених)
- Велика предузећа (више од 250 запослених)

Према класификацији делатности у Републици Србији прерађивачки сектор чине следеће делатности:

- Област 10: Производња прехранбених производа
- Област 11: Производња пића
- Област 12: Производња дуванских производа
- Област 13: Производња текстила
- Област 14: Производња одевних предмета
- Област 15: Производња коже и предмета од коже
- Област 16: Прерада дрвета и производи од дрвета, плуте, сламе и прућа, осим намештаја
- Област 17: Производња папира и производа од папира
- Област 18: Штампане и умножавање аудио и видео записа
- Област 19: Производња кокса и деривата нафте
- Област 20: Производња хемикалија и хемијских производа
- Област 21: Производња основних фармацеутских производа и препарата
- Област 22: Производња производа од гуме и пластике
- Област 23: Производња производа од осталих неметалних минерала
- Област 24: Производња основних метала
- Област 25: Производња металних производа, осим машина и уређаја

- Област 26: Производња рачунара, електронских и оптичких производа
- Област 27: Производња електричне опреме
- Област 28: Производња непоменутих машина и непоменуте опреме
- Област 29: Производња моторних возила, приколица и полуприколица
- Област 30: Производња осталих саобраћајних средстава
- Област 31: Производња намештаја
- Област 32: Остале прерађивачке делатности
- Област 33: Поправка и монтажа машина и опреме

Окрузи у којим компаније послују су:

- Северно-бачки управни округ
- Средње-банатски управни округ
- Северно-банатски управни округ
- Јужно-банатски управни округ
- Западно-бачки управни округ
- Јужно-бачки управни округ
- Сремски управни округ
- Мачвански управни округ
- Колубарски управни округ
- Подунавски управни округ
- Браничевски управни округ
- Шумадијски управни округ
- Поморавски управни округ
- Борски управни округ
- Зајечарски управни округ
- Златиборски управни округ
- Моравички управни округ
- Рашки управни округ
- Расински управни округ
- Нишавски управни округ
- Топлички управни округ
- Пиротски управни округ
- Јабланички управни округ
- Пчињски управни округ
- Град Београд

Величина узорка је утврђена на основу Кохрановог истраживања (Cochran 1977). Дистрибуција упитника и прикупљање података је засновано на Дилмановој методологији (Dillman, Smyth, and Christian 2014).

Дилманова методологија за дистрибуција упитника и прикупљање података се примењује у циљу остваривања бољег одзива испитаника у процесу истраживања. Основна претпоставка је да се бољи одзив испитаника у процесу истраживања може постићи остваривањем међусобног поверења између истраживача и испитаника, као и мотивисаности испитаника да одговори на упитник. У том контексту, већи степен мотивације код испитаника за попуњавањем упитника могуће је постићи креирањем адекватног субјективног доживљаја о упитнику код испитаника.

Пре дистрибуције упитника неопходно је спровести његову валидацију кроз пилот фазу. Након спровођења пилот фазе истраживања, упитник се по потреби усклађује са мишљењем испитаника које по правилу чине експерти у области из привреде и академије. Поред тога, пре дистрибуције упитника, неопходно је прибавити контакт информације о испитаницима, односно о компанијама која су укључена у истраживање. Ове информације подразумевају бројеве телефона, поштанске адресе и адресе електронске поште компанија. Препорука је да се упитник дистрибуира у папирној форми, али је свакако неопходно да постоји и електронска верзија упитника. Процедура подразумева да се недељу дана након првог позива на истраживање доставља подсетник испитаницима који су пристали да учествују у истраживању, а упитник нису попунили и послали. Уколико испитаник и након достављања првог подсетника не одговара на упитник, овај поступак се понавља и друге недеље након првобитног позива на истраживање, при чему се овај пут заједно уз подсетник, испитанику поново доставља и упитник.

Подаци који су коришћени у овом истраживању су прикупљени 2018. године у оквиру ЕМС истраживања и обухватају компаније са 20 или више запослених које припадају прерађивачком сектору Републике Србије. За сврхе овог истраживања су коришћена питања која се односе на употребу организационих и технолошких концепата, као и на карактеристике производње и производа у компанијама. Изглед дела упитника који је коришћен у овом истраживању као и питања која су постављена испитаницима је дат у Прилогу 1.

IV. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

11. Демографија узорка

Прикупљање података за сврхе овог истраживања је спроведено у оквиру ЕМС пројекта у 2018. години и обухвата компаније прерађивачког сектора Републике Србије које имају минимално 20 запослених. Укупна популација која задовољава наведене критеријуме чини 2261 компанију, чији основни подаци су добијени од Агенције за привредне регистре (АПР). Од укупног броја компанија, а са циљем добијања репрезентативног узорка, контактирано је 1136 компанија. Након иницијалног контакта са сваком од 1136 компанија, који је предвиђен Дилмановом методом у циљу остваривања бољег одзива испитаника у процесу истраживања, добијена је сагласност 701 компаније да буду укључене у истраживање. У великим компанијама су контактирани менаџери производње, док су у малим и средњим компанијама контактирани власници или директори јер је претпостављено да су управо ове особе најкомпетентније да адекватно попуне упитник. Након слања упитника и одговарајућих подсетника за учешће у истраживању, укупно 240 компанија, односно испитаника, је вратило валидно попуњен упитник. Заступљеност компанија које су учествовале у истраживању према величини је представљена у Табели 4. Заступљеност компанија које су учествовале у истраживању према величини одговара заступљености компанија према величини у укупној популацији. Овај однос је представљен на Графику 1.

Табела 4. Број компанија према величини

Величина компаније	Број компанија	Процент
Мала (мање од 50 запослених)	110	45,8%
Средња (50-250 запослених)	103	42,9%
Велика (више од 250 запослених)	27	11,3%
Укупно	240	100,0%

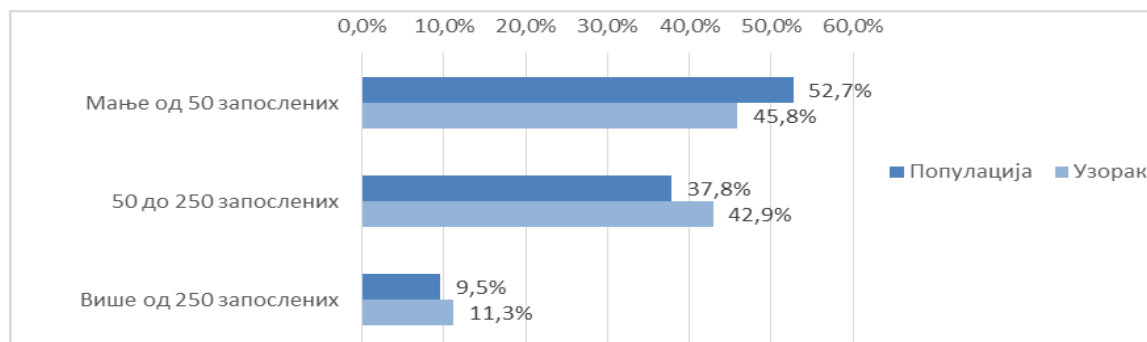


График 1. Однос компанија у популацији и узорку према величини

Заступљеност компанија које су учествовале у истраживању према делатности у којој послују је дата у Табели 5. Заступљеност компанија које су учествовале у истраживању према делатности одговара заступљености компанија према делатности у укупној популацији. Овај однос је представљен на Графику 2.

Табела 5. Број компанија према делатности у којој послују

Делатност компаније	Број компанија	Процент
Производња прехранбених производа	40	16,7%
Производња пића	6	2,5%
Производња дуванских производа	1	0,4%
Производња текстила	4	1,7%
Производња одевних предмета	14	5,8%
Производња коже и предмета од коже	7	2,9%
Прерада дрвета и производи од дрвета, плуте, сламе и пружа, осим намештаја	11	4,6%
Производња папира и производа од папира	6	2,5%
Штампање и умножавање аудио и видео записа	10	4,2%
Производња кокса и деривата нафте	1	0,4%
Производња хемикалија и хемијских производа	6	2,5%
Производња основних фармацеутских производа и препарата	2	0,8%
Производња производа од гуме и пластике	19	7,9%
Производња производа од осталих неметалних минерала	12	5,0%
Производња основних метала	5	2,1%
Производња металних производа, осим машина и уређаја	35	14,6%
Производња рачунара, електронских и оптичких производа	4	1,7%
Производња електричне опреме	17	7,1%
Производња непоменутих машина и непоменуте опреме	14	5,8%
Производња моторних возила, приколица и полуприколица	11	4,6%
Производња осталих саобраћајних средстава	2	0,8%
Производња намештаја	9	3,8%
Остале прерађивачке делатности	3	1,3%
Поправка и монтажа машина и опреме	1	0,4%
Укупно	240	100,0%

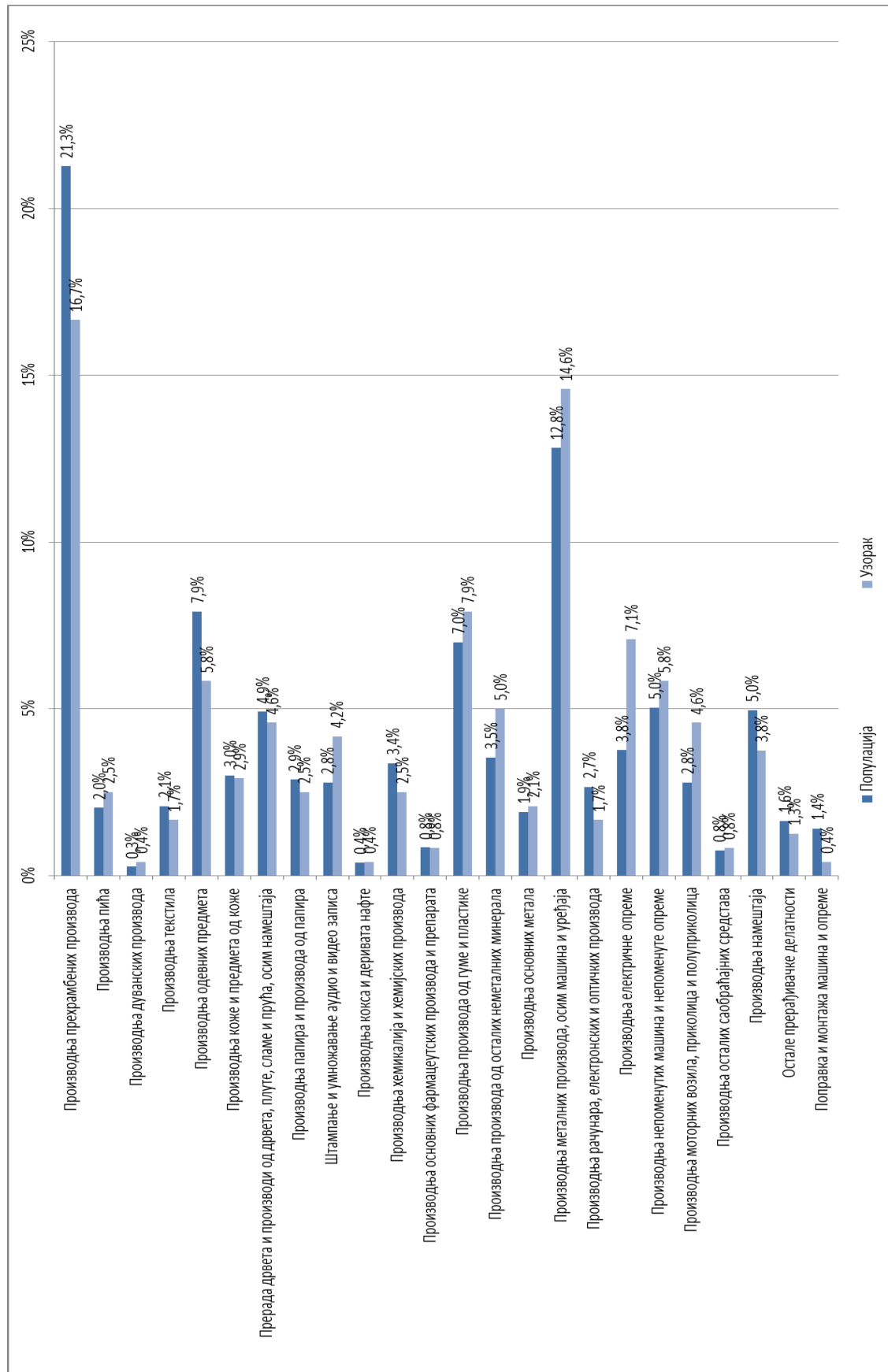


График 2. Однос компанија у популацији и узорку према делатности

Заступљеност компанија које су учествовале у истраживању према округу у ком послују је дата у Табели 6. Заступљеност компанија које су учествовале у истраживању према округу одговара заступљености компанија према округу у укупној популацији. Овај однос је представљен на Графику 3.

Табела 6. Број компанија према округу у ком послују

Округ компаније	Број компанија	Процент
Северно-бачки управни округ	11	4,6%
Средње-банатски управни округ	4	1,7%
Северно-банатски управни округ	12	5,0%
Јужно-банатски управни округ	5	2,1%
Западно-бачки управни округ	4	1,7%
Јужно-бачки управни округ	36	15,0%
Сремски управни округ	20	8,3%
Мачвански управни округ	13	5,4%
Колубарски управни округ	7	2,9%
Подунавски управни округ	5	2,1%
Браничевски управни округ	2	0,8%
Шумадијски управни округ	3	1,3%
Поморавски управни округ	4	1,7%
Борски управни округ	0	0,0%
Зајечарски управни округ	3	1,3%
Златиборски управни округ	15	6,3%
Моравички управни округ	18	7,5%
Рашки управни округ	5	2,1%
Расински управни округ	3	1,3%
Нишавски управни округ	15	6,3%
Топлички управни округ	4	1,7%
Пиротски управни округ	3	1,3%
Јабланички управни округ	2	0,8%
Пчињски управни округ	5	2,1%
Град Београд	41	17,1%
Укупно	240	100,0%

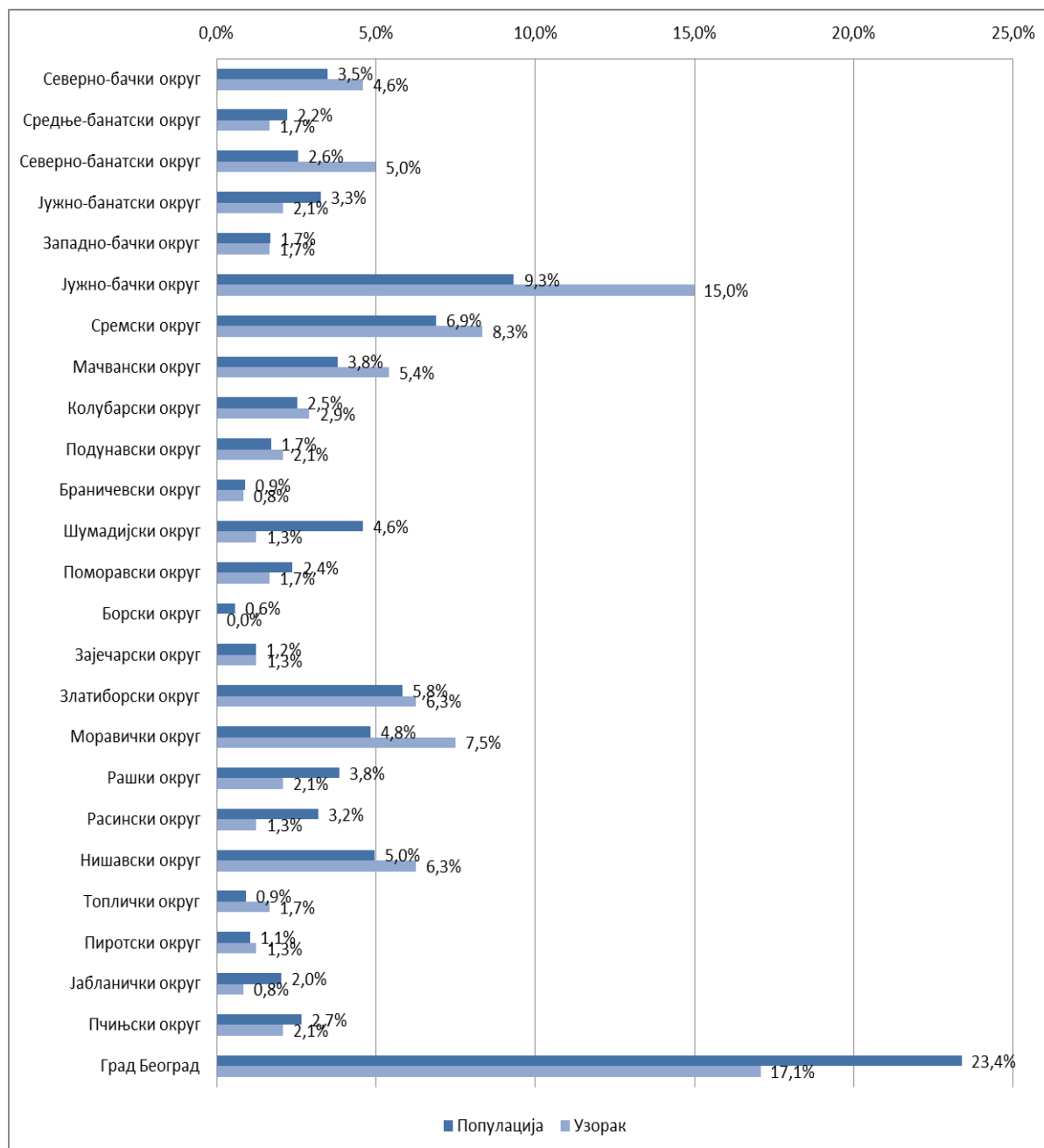


График 3. Однос компанија у популацији и узорку према округу

На основу упоредне анализе заступљености компанија према величини, делатности и округу у ком послују у узорку и укупној популацији, може се закључити да је коришћени узорак репрезентативан за подручје истраживачке популације, односно прерађивачког сектора Републике Србије.

12. Резултати истраживања

У овом истраживању коришћена је хибридна метода за вишекритеријумско одлучивање која комбинује фази логику, АНР методу и PROMETHEE II методу

за евалуацију организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору из перспективе Индустрије 4.0. У овом делу истраживања ће бити представљени резултати евалуације организационих и технолошких концепата, анализа осетљивости и корелација између увођења организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору.

12.1. Евалуација организационих концепата у прерађивачком сектору

На основу модела за евалуацију организационих концепата у прерађивачком сектору који је представљен на Слици 12 дате су димензије, критеријуми и алтернативе у Табели 7.

Табела 7. Димензије, критеријуми и алтернативе за евалуацију организационих концепата

Димензије	Критеријуми	Алтернативе
Производња (Д1)	Производња по наруџбини (Ц1) Монтажа по наруџбини (Ц2) Производња за складиште (Ц3)	Стандардизоване и детаљне писане радне инструкције (А1) Мере унапређења интерне логистике (А2)
Развој производа (Д2)	Према спецификацији купца (Ц4) Стандардни асортиман којем се додају опције по жељи купаца (Ц5) Стандардни асортиман из којег купац бира (Ц6)	Оптимизација процеса производње (А3) Интеграција радних задатака (А4) Организација производње према PULL принципу (А5)
Величина серије (Д3)	Појединачна производња (Ц7) Мала или средња серија (Ц8) Велика серија (Ц9)	Методe за обезбеђење квалитета у производњи (А6) Управљање производњом применом визуелних алата (А7)
Сложеност производа (Д4)	Једноставан производ (Ц10) Производ средњег степена сложености (Ц11) Производ високог степена сложености (Ц12)	Методe операционог менаџмента (А8) Стандард за управљање квалитетом (А9) Стандард за управљање заштитом животне средине (А10) Стандард за управљање потрошњом енергије (А11) Методe за промовисање посвећености запослених (А12) Обука на радном месту (А13)

У првом делу истраживања је коришћена АНР метода и фази логика за утврђивање тежинских коефицијената критеријума. У те сврхе, прво су дефинисани тежински коефицијенти за сваку од димензија, односно за опште карактеристике производње и производа. Резултати су представљени у Табели 8.

Табела 8. Поређење димензија за евалуацију организационих концепата

Димензије	Д1	Д2	Д3	Д4	Тежина
Д1	(1, 1, 1)	(0.33, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.2984
Д2	(1, 1, 3)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.3397
Д3	(0.2, 0.33, 1)	(0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	0.1962
Д4	(0.2, 0.33, 1)	(0.2, 0.33, 1)	(0.33, 1, 1)	(1, 1, 1)	0.1657

Након утврђивања тежинских коефицијената димензија, одређени су тежински коефицијенти критеријума за сваку од димензија у моделу, што је представљено у Табелама 9, 10, 11 и 12. Степен конзистентности приликом поређења димензија и критеријума, који је приказан у Табели 13, показује да није било значајних одступања у овом процесу. Одступања су мања од 10% за сваку од матрица поређења, што се сматра прихватљивим.

Табела 9. Поређење критеријума за евалуацију организационих концепата који се односе на производњу

Критеријум (Д1)	Ц1	Ц2	Ц3	Локална тежина	Глобална тежина
Ц1	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(5, 7, 9)	0.5901	0.1761
Ц2	(0.2, 0.33, 0.1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	0.3111	0.0928
Ц3	(0.11, 0.14, 0.2)	(0.14, 0.2, 0.33)	(1, 1, 1)	0.0988	0.0293

Табела 10. Поређење критеријума за евалуацију организационих концепата који се односе на развој производа

Критеријум (Д2)	Ц4	Ц5	Ц6	Локална тежина	Глобална тежина
Ц4	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	0.5972	0.2029
Ц5	(0.2, 0.33, 0.1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	0.2842	0.0965
Ц6	(0.14, 0.2, 0.33)	(0.2, 0.33, 0.1)	(1, 1, 1)	0.1186	0.0403

Табела 11. Поређење критеријума за евалуацију организационих концепата који се односе на величину серије

Критеријум (Д3)	Ц7	Ц8	Ц9	Локална тежина	Глобална тежина
Ц7	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	0.4658	0.0914
Ц8	(0.33, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	0.3568	0.0704
Ц9	(0.2, 0.33, 0.1)	(0.2, 0.33, 0.1)	(1, 1, 1)	0.1775	0.0348

Табела 12. Поређење критеријума за евалуацију организационих концепата који се односе на сложеност производа

Критеријум (Д4)	Ц10	Ц11	Ц12	Локална тежина	Глобална тежина
Ц10	(1, 1, 1)	(0.33, 1, 1)	(0.14, 0.2, 0.33)	0.1278	0.0212
Ц11	(1, 1, 3)	(1, 1, 1)	(0.2, 0.33, 0.1)	0.3447	0.0571
Ц12	(3, 5, 7)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	0.5275	0.0874

Табела 13. Степен конзистентности приликом поређења димензија и критеријума за евалуацију организационих концепата

Димензије	Критеријуми (Д1)	Критеријуми (Д2)	Критеријуми (Д3)	Критеријуми (Д4)
CR	0.02	0.01	0.04	0.00

Тежински коефицијенти који су утврђени применом АНР методе и фази логике су даље коришћени за евалуацију организационих концепата применом PROMETHEE II методе. Све неопходне информације за евалуацију организационих концепата су приказане у Табели 14. Евалуација је спроведена довођењем у везу примене одређеног организационог концепта и карактеристика производње и производа у компанијама. Конкретно, евалуација је реализована на основу броја компанија које имају одређене карактеристике производње и производа, а притом користе одговарајући организациони концепт дефинисан у моделу истраживања.

Табела 14. Матрица за евалуацију организационих концепата

Критеријум	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5	Ц6	Ц7	Ц8	Ц9	Ц10	Ц11	Ц12
Мин/Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс
Тежина	0.1761	0.0928	0.0293	0.2029	0.0965	0.0403	0.0914	0.0704	0.0348	0.0212	0.0571	0.0874
Функција преференције	Критеријум са линеарном преференцијом											
П вредност	45	29	11	66	4	17	18	46	27	30	43	17
A1	71	43	22	101	6	31	25	70	48	43	73	25
A2	26	8	5	30	3	6	8	15	17	6	25	8
A3	34	14	8	41	6	9	7	25	25	13	35	6
A4	38	22	9	51	4	16	11	32	30	19	38	14
A5	28	9	4	36	1	3	8	20	13	11	25	5
A6	49	27	14	72	4	17	15	48	34	29	50	15
A7	38	21	9	52	2	14	14	26	30	15	40	14
A8	10	7	3	16	2	3	2	7	12	2	14	4
A9	78	42	17	108	7	22	30	68	43	42	71	27
A10	50	21	9	64	5	10	20	39	24	22	40	20
A11	9	0	2	9	0	2	1	3	7	1	6	2
A12	22	14	8	31	2	12	5	27	13	9	26	10
A13	74	45	18	109	6	24	25	72	45	44	72	25

Након спровођења процедуре PROMETHEE II методе у Табели 15 је представљен коначан ранг организационих концепата из перспективе доприноса савременим производним трендовима.

Табела 15. Ранг организационих концепата

Алтернатива	ϕ	ϕ^+	ϕ^-	Ранг
A9	0.7301	0.7368	0.0066	1
A1	0.6901	0.7029	0.0128	2
A13	0.6776	0.6919	0.0144	3
A6	0.2171	0.3621	0.1450	4
A10	0.1718	0.3305	0.1586	5
A4	-0.0172	0.2104	0.2276	6
A7	-0.0635	0.1901	0.2536	7
A3	-0.1583	0.1490	0.3073	8
A12	-0.3288	0.0713	0.4001	9
A2	-0.3451	0.0641	0.4092	10
A5	-0.3776	0.0544	0.4320	11
A8	-0.5433	0.0132	0.5565	12
A11	-0.6531	0.0000	0.6531	13

На основу резултата представљених у Табели 15 организациони концепти су ранжирани према доприносу савременим производним трендовима, предвиђеним концептом Индустије 4.0, следећим редом:

- Стандард за управљање квалитетом
- Стандардизоване и детаљне писане радне инструкције
- Обука на радном месту
- Методе за обезбеђење квалитета у производњи
- Стандард за управљање заштитом животне средине
- Интеграција радних задатака
- Управљање производњом применом визуелних алата
- Оптимизација процеса производње
- Методе за промовисање посвећености запослених
- Мере унапређења интерне логистике
- Организација производње према PULL принципу

- Методе операционог менаџмента
- Стандард за управљање потрошњом енергије

Након утврђивања ранга алтернатива спроведена је анализа осетљивости тежинских коефицијената како би се утврдио распон, односно интервал стабилности за сваки критеријум, у ком ранг алтернатива остаје непромењен. Резултати анализе осетљивости су представљени у Табели 16. Ови резултати показују како тежински коефицијенти критеријума могу да варирају до одређене мере, а да притом редослед алтернатива остане исти. Такође, сваки од критеријума има допринос у моделу с обзиром да ни код једног критеријума интервал стабилности није у распону од нула до један [0,1], што би значило да критеријум нема своју сврху у моделу.

Табела 16. Интервал стабилности тежинских коефицијената за евалуацију организационих концепата

Критеријум	Тежина	Интервал стабилности	
		Мин	Макс
Ц1	0.2051	0.0983	0.2944
Ц2	0.1081	0.0329	0.2247
Ц3	0.0343	0.0186	0.1654
Ц4	0.1823	0.0762	0.2574
Ц5	0.0867	0.0288	0.1606
Ц6	0.0362	0.0041	0.1331
Ц7	0.0743	0.0195	0.1886
Ц8	0.0572	0.0146	0.1714
Ц9	0.0283	0.0097	0.1284
Ц10	0.0240	0.0039	0.1182
Ц11	0.0647	0.0249	0.1738
Ц12	0.0991	0.0338	0.2161

12.2. Евалуација технолошких концепата у прерађивачком сектору

На основу модела за евалуацију технолошких концепата у прерађивачком сектору који је представљен на Слици 13 дате су димензије, критеријуми и алтернативе у Табели 17.

Табела 17. Димензије, критеријуми и алтернативе за евалуацију технолошких концепата

Димензије	Критеријуми	Алтернативе
Производња (Д1)	Производња по наруџбини (Ц1) Монтажа по наруџбини (Ц2) Производња за складиште (Ц3)	Мобилни/бежични уређаји за програмирање и руковање опремом и машинама (А1) Примена дигиталних решења у производном погону за приказ цртежа, радних планова и радних инструкција (А2) Рачунаром подржано планирање и управљање производњом (А3) Менаџмент ланцима снабдевања (А4)
Развој производа (Д2)	Према спецификацији купца (Ц4) Стандардни асортиман којем се додају опције по жељи купаца (Ц5) Стандардни асортиман из којег купац бира (Ц6)	Системи за контролу и управљање производњом у реалном времену (А5) Системи за аутоматизацију и менаџмент интерном логистиком (А6)
Величина серије (Д3)	Појединачна производња (Ц7) Мала или средња серија (Ц8) Велика серија (Ц9)	Системи за управљање животним циклусом производа (А7) Виртуелна реалност или симулација за пројектовање или развој производа (А8) Индустријски роботи у производњи (А9) Индустријски роботи за послове руковања материјалом (А10)
Сложеност производа (Д4)	Једноставан производ (Ц10) Производ средњег степена сложености (Ц11) Производ високог степена сложености (Ц12)	Технологије 3Д штампе за израду прототипа, показних модела, пробне производње (А11) Технологије 3Д штампе за производњу производа, компоненти, облика и алата (А12) Технологије за рециклажу и поновну употребу воде у производним системима (А13) Технологије за поновну употребу кинетичке енергије или енергије из производње (А14)

У првом делу истраживања је коришћена АНР метода и фази логика за утврђивање тежинских коефицијената критеријума. У те сврхе, прво су дефинисани тежински коефицијенти за сваку од димензија, односно за опште карактеристике производње и производа. Резултати су представљени у Табели 18.

Табела 18. Поређење димензија за евалуацију технолошких концепата

Димензије	Д1	Д2	Д3	Д4	Тежина
Д1	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.3475
Д2	(0.33, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.3052
Д3	(0.2, 0.33, 1)	(0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1)	(0.33, 1, 1)	0.1595
Д4	(0.2, 0.33, 1)	(0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 3)	(1, 1, 1)	0.1878

Након утврђивања тежинских коефицијената димензија, одређени су тежински коефицијенти критеријума за сваку од димензија у моделу, што је представљено у Табелама 19, 20, 21 и 22. Степен конзистентности приликом поређења димензија и критеријума, који је приказан у Табели 23, показује да није било значајних одступања у овом процесу. Одступања су мања од 10% за сваку од матрица поређења, што се сматра прихватљивим.

Табела 19. Поређење критеријума за евалуацију технолошких концепата који се односе на производњу

Критеријум (Д1)	Ц1	Ц2	Ц3	Локална тежина	Глобална тежина
Ц1	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	(3, 5, 7)	0.5275	0.1833
Ц2	(0.33, 1, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	0.3447	0.1199
Ц3	(0.14, 0.2, 0.33)	(0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1)	0.1278	0.0444

Табела 20. Поређење критеријума за евалуацију технолошких концепата који се односе на развој производа

Критеријум (Д2)	Ц4	Ц5	Ц6	Локална тежина	Глобална тежина
Ц4	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(3, 5, 7)	0.5972	0.1823
Ц5	(0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	0.2842	0.0867
Ц6	(0.14, 0.2, 0.33)	(0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1)	0.1186	0.0362

Табела 21. Поређење критеријума за евалуацију технолошких концепата који се односе на величину серије

Критеријум (Д3)	Ц7	Ц8	Ц9	Локална тежина	Глобална тежина
Ц7	(1, 1, 1)	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	0.5547	0.0885
Ц8	(0.2, 0.33, 1)	(1, 1, 1)	(1, 1, 3)	0.3166	0.0505
Ц9	(0.2, 0.33, 1))	(0.33, 1, 1)	(1, 1, 1)	0.1287	0.0206

Табела 22. Поређење критеријума за евалуацију технолошких концепата који се односе на сложеност производа

Критеријум (Д4)	Ц10	Ц11	Ц12	Локална тежина	Глобална тежина
Ц10	(1, 1, 1)	(0.33, 1, 1)	(0.2, 0.33, 1)	0.1756	0.0330
Ц11	(1, 1, 3)	(1, 1, 1)	(0.2, 0.33, 1)	0.3602	0.0676
Ц12	(1, 3, 5)	(1, 3, 5)	(1, 1, 1)	0.4643	0.0872

Табела 23. Степен конзистентности приликом поређења димензија и критеријума за евалуацију технолошких концепата

Димензије	Критеријуми (Д1)	Критеријуми (Д2)	Критеријуми (Д3)	Критеријуми (Д4)
CR	0.02	0.03	0.04	0.00

Тежински коефицијенти који су утврђени применом АНР методе и фази логике су даље коришћени за евалуацију технолошких концепата применом PROMETHEE II методе. Све неопходне информације за евалуацију

технолошких концепата су приказане у Табели 24. Евалуација је спроведена довођењем у везу примене одређеног технолошког концепта и карактеристика производње и производа у компанијама. Конкретно, евалуација је реализована на основу броја компанија које имају одређене карактеристике производње и производа, а притом користе одговарајући технолошки концепт дефинисан у моделу истраживања.

Табела 24. Матрица за евалуацију технолошких концепата

Критеријум	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5	Ц6	Ц7	Ц8	Ц9	Ц10	Ц11	Ц12
Мин/Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс	Макс
Тежина	0.1833	0.1199	0.0444	0.1823	0.0867	0.0362	0.0885	0.0505	0.0206	0.0330	0.0676	0.0872
Функција преференције	Критеријум са линеарном преференцијом											
П вредност	30	11	7	36	4	9	13	20	17	10	26	11
A1	25	6	1	25	2	5	9	11	12	6	13	11
A2	38	10	9	44	3	10	12	27	17	14	26	15
A3	50	23	14	64	7	16	20	38	32	16	48	21
A4	54	20	10	63	6	14	22	34	29	17	43	22
A5	43	12	6	50	3	10	15	24	25	11	35	15
A6	27	10	5	28	4	8	12	12	18	7	18	13
A7	17	8	4	19	1	7	7	11	11	5	11	10
A8	33	8	4	41	2	3	17	19	10	11	24	10
A9	18	7	5	23	2	6	9	13	9	7	17	7
A10	12	6	2	15	0	4	4	7	10	7	7	6
A11	15	5	1	19	2	0	5	9	7	0	16	5
A12	9	4	1	13	1	0	2	7	5	0	11	3
A13	15	9	7	20	3	6	3	13	15	7	12	10
A14	8	6	4	11	2	7	1	11	9	6	9	5

Након спровођења процедуре PROMETHEE II методе у Табели 25 је представљен коначан ранг технолошких концепата из перспективе доприноса савременим производним трендовима.

Табела 25. Ранг технолошких концепата

Алтернатива	ϕ	ϕ^+	ϕ^-	Ранг
A3	0.8341	0.8379	0.0038	1
A4	0.8122	0.8215	0.0093	2
A5	0.4165	0.5049	0.0883	3
A2	0.3147	0.4261	0.1114	4
A8	0.1099	0.2908	0.1810	5
A6	0.0473	0.2460	0.1987	6
A1	-0.1686	0.1198	0.2884	7
A13	-0.1947	0.1114	0.3062	8
A9	-0.1980	0.0990	0.2970	9
A7	-0.2505	0.0781	0.3287	10
A11	-0.3743	0.0364	0.4108	11
A14	-0.4103	0.0301	0.4404	12
A10	-0.4232	0.0241	0.4473	13
A12	-0.5151	0.0047	0.5199	14

На основу резултата представљених у Табели 25 технолошки концепти су ранжирани према доприносу савременим производним трендовима, предвиђеним концептом Индустије 4.0, следећим редом:

- Рачунаром подржано планирање и управљање производњом
- Менаџмент ланцима снабдевања
- Системи за контролу и управљање производњом у реалном времену
- Примена дигиталних решења у производном погону за приказ цртежа, радних планова и радних инструкција
- Виртуелна реалност или симулација за пројектовање или развој производа
- Системи за аутоматизацију и менаџмент интерном логистиком
- Мобилни/бежични уређаји за програмирање и руковање опремом и машинама
- Технологије за рециклажу и поновну употребу воде у производним системима
- Индустијски роботи у производњи

- Системи за управљање животним циклусом производа
- Технологије 3Д штампе за израду прототипа, показних модела, пробне производње
- Технологије за поновну употребу кинетичке енергије или енергије из производње
- Индустијски роботи за послове руковања материјалом
- Технологије 3Д штампе за производњу производа, компоненти, облика и алата

Након утврђивања ранга алтернатива спроведена је анализа осетљивости тежинских коефицијената како би се утврдио распон, односно интервал стабилности за сваки критеријум, у ком ранг алтернатива остаје непромењен. Резултати анализе осетљивости су представљени у Табели 26. Ови резултати показују како тежински коефицијенти критеријума могу да варирају до одређене мере, а да притом редослед алтернатива остане исти. Такође, сваки од критеријума има допринос у моделу с обзиром да ни код једног критеријума интервал стабилности није у распону од нула до један [0,1], што би значило да критеријум нема своју сврху у моделу.

Табела 26. Интервал стабилности тежинских коефицијената за евалуацију технолошких концепата

Критеријум	Тежина	Интервал стабилности	
		Мин	Макс
Ц1	0.1833	0.1113	0.2111
Ц2	0.1199	0.1024	0.2027
Ц3	0.0444	0.0334	0.0738
Ц4	0.1823	0.0656	0.2155
Ц5	0.0867	0.0751	0.1701
Ц6	0.0362	0.0028	0.0822
Ц7	0.0885	0.0297	0.0953
Ц8	0.0505	0.0124	0.2601
Ц9	0.0206	0.0113	0.1329
Ц10	0.0330	0.0036	0.0970
Ц11	0.0676	0.0064	0.0844
Ц12	0.0872	0.0752	0.2088

12.3. Корелациона анализа

Како би се утврдило да ли постоји одређена веза између организационих и технолошких концепата за које се на основу резултата истраживања може рећи да имају прихватљив ниво доприноса савременим трендовима производње, урађена је корелациона анализа. У оквиру ове анализе обухваћени су организациони и технолошки концепти за које се испоставило да имају позитиван чисти ток добијен применом PROMETHEE II методе. Позитиван чисти ток подразумева да је позитиван ток неке алтернативе већи од њеног негативног тока, што значи да се та алтернатива може сврстати у оне које се сматрају доминирајућим у контексту у ком се посматрају. Од организационих концепата у ту групу спадају:

- Стандард за управљање квалитетом (A9)
- Стандардизоване и детаљне писане радне инструкције (A1)
- Обука на радном месту (A13)
- Методе за обезбеђење квалитета у производњи (A6)
- Стандард за управљање заштитом животне средине (A10)

Од технолошких концепата у ту групу спадају:

- Рачунаром подржано планирање и управљање производњом (A3)
- Менаџмент ланцима снабдевања (A4)
- Системи за контролу и управљање производњом у реалном времену (A5)
- Примена дигиталних решења у производном погону за приказ цртежа, радних планова и радних инструкција (A2)
- Виртуелна реалност или симулација за пројектовање или развој производа (A8)
- Системи за аутоматизацију и менаџмент интерном логистиком (A6)

Резултати непараметарске Спирманове корелације, која је карактеристична за употребу у случају анализе дихотомних променљивих, између доминирајућих организационих и технолошких концепата је приказана у Табели 27. Ови резултати показују да постоји статистички значајна позитивна веза између увођења организационих и технолошких концепта укључених у анализу.

Табела 27. Корелација између доминирајућих организационих и технолошких концепата

		Технолошки концепти						
		A2	A3	A4	A5	A6	A8	
Организациони концепти	A1	Коефицијент корелације	,219**	,349**	,278**	,294**	,259**	,204**
		Значајност	,001	,000	,000	,000	,000	,001
		Број компанија	240	240	240	240	240	240
A6	Коефицијент корелације	,228**	,345**	,292**	,354**	,323**	,231**	
	Значајност	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	Број компанија	240	240	240	240	240	240	
A9	Коефицијент корелације	,266**	,297**	,303**	,276**	,307**	,237**	
	Значајност	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	Број компанија	240	240	240	240	240	240	
A10	Коефицијент корелације	,301**	,324**	,268**	,246**	,355**	,275**	
	Значајност	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	Број компанија	240	240	240	240	240	240	
A13	Коефицијент корелације	,265**	,321**	,301**	,286**	,218**	,291**	
	Значајност	,000	,000	,000	,000	,001	,000	
	Број компанија	240	240	240	240	240	240	

**Значајност корелације је на нивоу 0.01

V.ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

13. Анализа резултата истраживања

У оквиру овог истраживања постављене су истраживачке хипотезе које су представљене у поглављу 3.1. Резултати истраживања ће бити анализирана у складу са постављеним хипотезама.

Х1: Могуће је развити модел за евалуацију организационих и технолошких концепата у контексту повећања спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

Примарни задатак у овом истраживању се односио на развој модела за евалуацију организационих и технолошких концепата у контексту повећања спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0. На основу теоријских подлога утврђени су организациони и технолошки концепти које је потребно узети у обзир у овом контексту, као и критеријуми на основу којих се може извршити евалуација. У складу са потребама истраживања, развијен је модел за евалуацију организационих и технолошких концепата заснован на методама за вишекритеријумско одлучивање. Прецизније, развијен је хибридни модел за вишекритеријумско одлучивање који укључује примену АНР методе, фази логике и PROMETHEE II методе. Показало се да је могуће извршити евалуацију организационих и технолошких концепата применом овог модела, који даје јасне смернице о томе који организациони и технолошки концепти дају значајнији допринос повећању спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0 од осталих. Валидност модела је потврђена на два начина, која су омогућена захваљујући адекватном избору метода за вишекритеријумско одлучивање.

Први битан елемент који обезбеђује валидност модела се односи на утврђивање доследности приликом дефинисања важности критеријума. У овом случају је за те сврхе коришћена АНР метода подржана фази логиком чија је улога смањење неодређености и непрецизности у процени доносиоца одлуке приликом утврђивања важности критеријума на основу којих се доноси одлука (P.J.M. van Laarhoven and W. Pedrycz 1983). АНР метода представља изузетно квалитетан алат за утврђивање важности критеријума, јер хијерархијска структура проблема која је карактеристична за ову методу омогућава декомпоновање комплексног проблема на низ мање сложених проблема (Saaty

1980). Управо због тога је доследност у одређивању тежинских коефицијената критеријума прилично извесна. Када се у цео процес укључи и примена фази логике, поузданост добијених резултата је додатно унапређена. Управо такав исход је добијен у овом истраживању, где је израчунавањем степена конзистентности датог у Табелама 13 (организациони концепти) и 23 (технолошки концепти) недвосмислено показано да није било значајних одступања у процесу одређивања важности, односно тежинских коефицијената критеријума, на основу којих је извршена евалуацију организационих и технолошких концепата.

Друга веома важна компонента која говори о валидности модела је анализа осетљивости, која показује распон у ком се може кретати тежински коефицијент сваког од критеријума, а да притом коначан редослед алтернатива остане непромењен. Уколико би благе промене тежинских коефицијената утицале на промену коначног редоследа алтернатива, могло би се поставити питање поузданости модела, а самим тим и резултата који произилазе из њега. Захваљујући адекватном приступу у дефинисању тежинских коефицијената критеријума, адекватном избору алтернатива и систематичном приступу процесу прикупљању података, анализа осетљивости је показала да у постављеним истраживачким моделима постоји могућност одређеног варирања вредности тежинских коефицијената које не утиче на коначан редослед алтернатива. Овај податак нам говори о робустности модела, која је на овај начин потврђена у овом истраживању.

На основу изнетих аргумената и потврде валидности и робустности модела примењених у овом истраживању потврђена је истраживачка хипотеза Х1.

Х2: Примена организационих концепата има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

У оквиру ове хипотезе су организациони концепти подељени у три карактеристичне групе, које су представљене као помоћне хипотезе у овом истраживању. Кроз анализу помоћних хипотеза ће бити могуће генерализовати и одговор на хипотезу Х2. Треба напоменути да је избор организационих концепата који имају позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0 заснован на резултатима добијеним PROMETHEE II методом. Прецизније, посматрана је вредност чистог тока, која представља однос позитивног и негативног тока сваке од алтернатива.

Утврђено је да су организационих концепти који имају позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0 они чији је чисти ток позитиван. То подразумева да је укупна доминација посматраног организационог концепта над другим организационим концептима већа него што је доминација других организационих концепата над посматраним организационим концептом. На овај начин утврђено је да следећи организациони концепти имају позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0:

- Стандард за управљање квалитетом
- Стандардизоване и детаљне писане радне инструкције
- Обука на радном месту
- Методе за обезбеђење квалитета у производњи
- Стандард за управљање заштитом животне средине

***X2a:** Организација производње има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0*

У оквиру ове помоћне хипотезе је анализиран утицај следећих организационих концепата:

- Стандардизоване и детаљне писане радне инструкције
- Мере унапређења интерне логистике
- Оптимизација процеса производње
- Интеграција радних задатака
- Организација производње према PULL принципу

Резултати истраживања су показали да од поменутих организационих концепата само стандардизоване и детаљне писане радне инструкције доприносе повећању спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0. Циљ дефинисања стандардизованих радних инструкција је обезбеђивање високе продуктивности. Допринос овог концепта се огледа у постизању равнотеже међу процесима на производној линији са циљем скраћивања времена трајања активности и елиминисања залиха и шкарта. Такође, употреба стандардизованих радних инструкција обезбеђује реализацију операција на стандардан начин без обзира на то који радник обавља ту операцију. Примена овог концепта унапређује ефикасност процеса и брзину реакције на захтеве крајњих корисника. Осим тога, захваљујући примени овог

концепта производни процеси се континуирано унапређују и лакше прилагођавају потребама крајњих корисника (Morgan and Liker 2006).

X26: *Управљање и контрола производње има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0*

Постављање ове помоћне хипотезе је имало за сврху анализу утицаја следећих организационих концепата:

- Методе за обезбеђење квалитета у производњи
- Управљање производњом применом визуелних алата
- Методе операционог менаџмента
- ИСО стандарди
 - Стандард за управљање квалитетом (ИСО 9001)
 - Стандард за управљање заштитом животне средине (ИСО 14001)
 - Стандард за управљање потрошњом енергије (ИСО 50001)

На основу резултата истраживања закључено је да су ИСО стандарди и методе за обезбеђење квалитета у производњи значајни за компаније у контексту повећања њихове спремности за прелазак на Индустрију 4.0.

Од ИСО стандарда, посебно је важан стандард за управљање квалитетом чији се допринос огледа у могућности управљања заснованог на систематизацији и формализацији задатака како би се постигла хомогеност производа која је у складу са спецификацијама које дефинише крајњи корисник (Shannon, Daly, and Marilyn 1999). Као што стандардизоване и детаљне писане радне инструкције обезбеђују ефикасност при организацији рада, тако се у овом процесу надовезује стандард за управљање квалитетом који омогућава ефикасно управљање и контролу производних процеса. На тај начин је обезбеђена максимална подршка задовољавању потреба крајњег корисника и самим тим повећању његовог задовољства кроз цео производни процес. Поред стандарда за управљање квалитетом, важна је и имплементација стандарда за управљање заштитом животне средине, који допуњује и најчешће се примењује заједно са стандардом за управљање квалитетом. Примена стандарда за управљање заштитом животне средине је важна из аспекта ефикасне употребе ресурса која представља једну од приоритетних области Индустрије 4.0 (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013).

Поред ИСО стандарда који представљају кључне концепте за стандардизовање процедура, потребна ја и примена метода за обезбеђење квалитета у производњи које су одговорне за квалитет крајњег производа. То се пре свега односи на два концепта: TQM и Six Sigma. Примена TQM-а доприноси континуираном откривању и смањењу, односно отклањању грешака у производњи, једноставнијем управљању ланцима снабдевања, побољшању корисничког искуства и омогућавању запосленима да напредују кроз процес обуке (Aquilani et al. 2017). Six Sigma концепт се базира на смањењу времена производног циклуса и дефеката у производном процесу, који је фокусиран на испуњавање потреба крајњих корисника, као и унапређење квалитета производа (Dahlgaard and Dahlgaard-Park 2006).

***X2ц:** Управљање људским ресурсима има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0*

Помоћна хипотеза која се односи на управљање људским ресурсима обухвата следеће организационе концепте:

- Методе за промовисање посвећености запослених
- Обука на радном месту

Резултати истраживања указују да из аспекта управљања људским ресурсима обука на радном месту доприноси повећању спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0. Како би запослени били у могућности да прате трендове у производњи, који подразумевају веоме комплексне и брзе промене у производним процесима, неопходно је обезбедити адекватну обуку и друге облике њиховог развоја. Савремени програми обуке подразумевају оспособљавање запослених да извршавају већи број задатака и побољшање иновативних способности и учења запослених (Ma Prieto and Pilar Perez-Santana 2014). Уколико су запослени способни да одговоре на већи број задатака повећава се и флексибилност производног система што је од великог значаја за примену савремених трендова производње (Benešová and Tupa 2017).

Коначно, резултати истраживања потврђују истраживачку хипотезу X2. Емпиријски резултати показују да постоје организациони концепти из сваке од три дефинисане групе који имају утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0. Наведени организациони концепти се

односе на стандардизацију радних инструкција, квалитета производних процеса, ефикасност при употреби ресурса, квалитет производа и обуку запослених на радном месту. Сваки од ових концепата је повезан са неком од приоритетних области које се односе на индустрију 4.0. Ту се пре свега мисли на стандарде за архитектуру система, организацију рада, ефикасност при употреби ресурса и тренинг и континуирано професионално усавршавање запослених (Н. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013).

X3: Примена технолошких концепата има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

Утврђивање утицаја примене технолошких концепата на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0 спроведено је по истим принципима као и за организационе концепте. Технолошки концепти су подељени у четири групе које уједно представљају помоћне хипотезе:

- Дигиталне технологије
- Аутоматика и роботика
- Адитивне производне технологије
- Технологије за енергетску ефикасност

Добијени резултат показују да следећи технолошки концепти имају позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0:

- Рачунаром подржано планирање и управљање производњом
- Менаџмент ланцима снабдевања
- Системи за контролу и управљање производњом у реалном времену
- Примена дигиталних решења у производном погону за приказ цртежа, радних планова и радних инструкција
- Виртуелна реалност или симулација за пројектовање или развој производа
- Системи за аутоматизацију и менаџмент интерном логистиком

X3a: Примена дигиталних технологија има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0

На основу резултата истраживања утврђено је да сви наведени технолошки концепти који имају позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког

сектора за прелазак на Индустрију 4.0 припадају групи дигиталних технологија. Рачунаром подржано планирање и управљање производњом (ЕРП системи) се сматра једном од кључних технологија за имплементацију концепта Индустрије 4.0. Допринос ЕРП система у овом контексту је вишеструк. ЕРП системи омогућавају складиштење података из система на основу којих се може управљати различитим процесима (Umble, Haft, and Umble 2003). Поред тога, ЕРП системи обезбеђују вертикалну интеграцију система, повећану флексибилност која омогућава бољи одзив на захтеве корисника, унапређење пословних процеса и стандардизацију рачунарских платформи (Al-Mashari, Al-Mudimigh, and Zairi 2003). Сви ови елементи су препознати као изузетно значајни за примену концепта Индустрије 4.0 (H. Kagermann, Wahlster, and Helbig 2013). Такође, савремени трендови производње подразумевају све интензивнију комуникацију и сарадњу са спољним партнерима, па је функционалност ЕРП система проширена са решењима за управљање ланцима снабдевања (Chryssolouris et al. 2004). На овај начин се поред вертикалне обезбеђује и хоризонтална интеграција система (Stevens and Johnson 2016). Додатно, дигитализација омогућава развој ланца снабдевања који омогућавају већу флексибилност и ефикасност, а заснивају се на могућности располагања великим количинама података и адекватној употреби дигиталног хардвера, софтвера и мрежа за подршку и синхронизацију у интеракцији између партнера, чинећи комплетан процес приступачнијим и доступнијим, притом генеришући доследне, агилне и ефикасне исходе (Büyüközkan and Göçer 2018). Трећи технолошки концепт које се примењује у комбинацији са претходна два, и такође је веома важан за вертикалну и хоризонталну интеграцију система је систем за контролу и управљање производњом у реалном времену. Системи за контролу и управљање производњом у реалном времену се примењују на оперативном нивоу и тако допуњују ЕРП системе који се имплементирају и употребљавају на стратешком нивоу компаније. Ови системи у савременој производњи имају улогу да обезбеде подршку управљању дигиталним ланцима снабдевања и координишу вертикалну и хоризонталну интеграцију компанија (Filipov and Vasilev 2016). Интегрисаном применом ова три технолошка концепта која се међусобно допуњују, добија се синергетски ефекат који у великој мери унапређује пословање компанија. Систем интегрисан на овакав начин се даље може унапредити применом дигиталних решења у производном погону за приказ цртежа, радних планова и радних инструкција са циљем унапређења ефикасности, продуктивности и квалитета (Liu and Ju 2010). Примена овог

технолошког концепта омогућује запосленима да у реалном времену дају повратну информацију о реализацији активности и токовима материјала (Henning Kagermann 2015).

Поред поменутих технолошких концепата, за имплементацију Индустрије 4.0 у прерађивачком сектору је веома важна примена система за аутоматизацију и менаџмент интерном логистиком, који се значајно ослањају на идентификационе технологије за прикупљање података у реалном времену као што је РФИД. На овај начин се повећава ефикасност доношења одлука у производњи заснована на тачним подацима у реалном времену (Sari 2010). Ова технологија је посебно значајна јер је карактерише веома мали број грешака и висока ефикасност идентификације, због чега се на њој заснива примена интернета ствари у прерађивачком сектору (Ding et al. 2017; Lund et al. 2014). Такође, РФИД технологија обезбеђује видљивост и контролу над производним и транспортним процесима у производним системима, како на нивоу саме компаније, тако и на нивоу комплетног ланца снабдевања, што је чини битном кариком у интеграцији система (Zhou, Ling, and Peng 2007).

Још један од битних технолошких концепата у контексту Индустрије 4.0 је виртуелна реалност или симулација за пројектовање или развој производа, која се реализује помоћу виртуелног инжењерства. Виртуелно инжењерство омогућава симулацију различитих активности везаних за пројектовање и производњу компоненти, монтажу и контролу квалитета, што представља једну од битних предности савремених производних компанија (Lemu 2014). Виртуелно инжењерство је од посебног значаја при развоју производа високог степена сложености где је тестирање на физичким моделима скупо и захтева доста времена (Mandić and Ćosić 2011).

Као што је претходно напоменуто, резултати емпиријског истраживања су показали да ниједан од технолошких концепата који припадају групама аутоматика и роботика, адитивне производне технологије и технологије за енергетску ефикасност не доприносе у значајној мери савременим трендовима производње, што значи да помоћне хипотезе ХЗб (Примена технологија за аутоматизацију има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0), ХЗц (Примена адитивних производних технологија има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког сектора за прелазак на Индустрију 4.0) и ХЗд (Примена технологија енергетске ефикасности има позитиван утицај на повећање спремности прерађивачког

сектора за прелазак на Индустрију 4.0) нису подржане овим истраживањем. Без обзира на ову чињеницу, резултати истраживања потврђују истраживачку хипотезу Х3, са јасним фокусом на примену дигиталних технологија у прерађивачком сектору.

Х4: Постоји позитивна корелација између увођења организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору

За сврхе ове анализе узети су у обзир само они организациони и технолошки концепти за које је на основу резултата утврђено да имају задовољавајући ниво доприноса савременим трендовима производње. Циљ ове анализе је био да се утврди да ли постоји одређена веза између увођења организационих и технолошких концепата у компанијама. Резултати корелационе анализе су показали да постоји статистички значајна позитивна корелација између увођења организационих и технолошких концепата за које је утврђено да имају задовољавајући ниво доприноса савременим трендовима производње у прерађивачком сектору. То значи да компаније које имају уведене кључне организационе концепте из перспективе Индустрије 4.0 такође имају тенденцију да уводе и технолошке концепте који су у овом контексту важни. Дакле, компаније прерађивачког сектора Републике Србије које имају тенденцију да прате савремене трендове производње су у одређеној мери препознале важност увођења како организационих тако и технолошких концепата у своје пословне системе. Овакав приступ је у сагласности са претходним истраживањима идентификованим у литератури, која указују на комплементарност организационих и технолошких концепата и важност комбиноване примене ових концепата (Liao et al. 2017; Camisón and Villar-López 2014; Psomas and Kafetzopoulos 2014; Lokshin, Gils, and Bauer 2009; OECD 2007). Ово је веома важна чињеница, јер је од изузетног значаја за компаније да буду свесне да фокус не треба да буде искључиво на примени савремених технологија, него да је неопходно да примена ових технологија буде подржана адекватном организацијом производње као и пословања у целини.

На основу свега претходно наведеног, узимајући у обзир представљене резултате у овом истраживању потврђена је истраживачка хипотеза Х4.

VI. ЗАКЉУЧЦИ И ПРАВЦИ ДАЉЕГ ИСТРАЖИВАЊА

14. Закључна разматрања

У оквиру овог истраживања извршена је евалуација организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору из перспективе Индустрије 4.0. на основу модела развијених за ову сврху. Евалуација организационих и технолошких концепата реализована је применом метода за вишекритеријумско одлучивање. АНР метода подржана фази логиком употребљена је за дефинисање важности критеријума за евалуацију, док је евалуација алтернатива реализована употребом PROMETHEE II методе. Истраживање је спроведено у прерађивачком сектору Републике Србије на основу података прикупљених у оквиру ЕМС пројекта.

На основу резултата овог истраживања потврђена је валидност, поузданост и робустност модела развијених за евалуација организационих и технолошких концепата. Резултати истраживања су показали утицај специфичних организационих и технолошких концепата на повећање спремности прерађивачког сектора Републике Србије за прелазак на Индустрију 4.0. Емпиријски резултати су показали да су компаније прерађивачког сектора Републике Србије претежно орјентисане на организацију, управљање и контролу производње, управљање људским ресурсима и примену дигиталних технологија. Такође показало се да постоји позитивна корелација између увођења организационих и технолошких концепата за које је утврђено да имају утицај на повећање спремности прерађивачког сектора Републике Србије за прелазак на Индустрију 4.0.

Допринос овог истраживања може се посматрати из теоријске и практичне перспективе. Из угла теоријских доприноса, у овом истраживању предложен је модел за евалуација организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору заснован на методама за вишекритеријумско одлучивање, који се може користити у будућим истраживањима. Такође, потврђено је да постоји одређена веза између увођења организационих и технолошких концепата у компанијама прерађивачког сектора, што је у сагласности са претходним истраживањима у овој области. Практични допринос овог истраживања огледа се у приказу тренутног стања примене организационих и технолошких концепата у прерађивачком сектору Републике

Србије из перспективе Индустрије 4.0 засноване на емпиријским подацима. Ови резултати се могу користити за стратешку оријентацију компанија које су заинтересоване да се прилагоде и да послују у складу са савременим трендовима производње.

15. Правци даљег истраживања

Истраживање спроведено у оквиру ове докторске дисертације може послужити као основа за даља истраживања која се могу развијати у неколико праваца.

Прво, у оквиру овог истраживања извршена је евалуација организационих и технолошких концепата комплетног прерађивачког сектора Републике Србије како би се добио општи преглед стања. Даља истраживања би могла да се баве специфичним сегментима прерађивачког сектора. То подразумева да би будућа истраживања могла да се фокусирају на одређене делатности карактеристичне за прерађивачки сектор. Осим тога, значајно би било да се изврше анализе које узимају у обзир мале и средње компаније, или само велике компаније, јер је познато да ове две групе компанија не послују увек на идентичан начин.

Друго, ово истраживање спроведено је у оквиру ЕМС пројекта, који се спроводи у већем броју европских земаља. Ова чињеница даје могућност спровођења упоредних анализа са другим земљама у Европи. На тај начин би се могло доћи до сазнања о позицији прерађивачког сектора Републике Србије у односу на друге земље у Европи. Такође, постоји могућност обједињавања резултата из више земаља који би могли дати приказ стања неког региона, или земаља које имају сличан степен привредног развоја.

Треће, резултати овог истраживања би могли да послуже као основа за дубљу анализу спремности прерађивачког сектора Републике Србије за прелазак на Индустрију 4.0 кроз развој методологије за утврђивање баријера за имплементацију организационих и технолошких концепата у компанијама. Овакав приступ истраживању би имао за циљ да унапреди услове за прелазак компанија на Индустрију 4.0 давањем низа препорука и подстицаја за компаније који би учинили процес прилагођавања изводљивијим.

VII. ЛИТЕРАТУРА

- Abdul Kadir, Aini, Xun Xu, and Enrico Hämmeler. 2011. "Virtual Machine Tools and Virtual Machining-A Technological Review." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 27 (3): 494–508. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2010.10.003>.
- Abdulmalek, Fawaz A., and Jayant Rajgopal. 2007. "Analyzing the Benefits of Lean Manufacturing and Value Stream Mapping via Simulation: A Process Sector Case Study." *International Journal of Production Economics* 107 (1): 223–36. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>.
- Abraham, Ajith, Pandian Vasant, and Arijit Bhattacharya. 2008. "Neuro-Fuzzy Approximation of Multi-Criteria Decision-Making QFD Methodology." *Springer Optimization and Its Applications* 16: 301–21. https://doi.org/10.1007/978-0-387-76813-7_12.
- Aguiar, Everaldo, Yihua Zhang, Marina Blanton, Rajkumar Buyya, Rajkumar Buyya, Chee Shin Yeo, Chee Shin Yeo, et al. 2010. "Cloud Computing: State-of-the-Art and Research Challenges." *Communications of the ACM* 1 (1): 17. <https://doi.org/10.1145/1721654.1721672>.
- Al-Mashari, Majed, Abdullah Al-Mudimigh, and Mohamed Zairi. 2003. "Enterprise Resource Planning: A Taxonomy of Critical Factors." *European Journal of Operational Research* 146 (2): 352–64. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00554-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00554-4).
- Alqaryouti, Omar, and Nur Siyam. 2018. "Serverless Computing and Scheduling Tasks on Cloud: A Review." *American Scientific Research Journal for Engineering*, 235–47. <http://asrjetsjournal.org/>.
- Amaro, Graça, Linda Hendry, and Brian Kingsman. 1999. "Competitive Advantage, Customisation and a New Taxonomy for Non Make-to-Stock Companies." *International Journal of Operations and Production Management* 19 (4): 349–71. <https://doi.org/10.1108/01443579910254213>.
- Ameri, Farhad, and Deba Dutta. 2005. "Product Lifecycle Management: Closing the Knowledge Loops." *Computer-Aided Design and Applications* 2 (5): 577–90. <https://doi.org/10.1080/16864360.2005.10738322>.
- Anisic, Zoran. 2014. "Integralni Razvoj Proizvoda u PLM Okruženju."
- Annunziata, M., and P.C. Evans. 2012. "Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines." *General Electric*. cabi:19850185983.
- Anojkumar, L., M. Ilangkumaran, and V. Sasirekha. 2014. "Comparative Analysis of MCDM Methods for Pipe Material Selection in Sugar Industry." *Expert Systems with Applications* 41 (6): 2964–80. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.028>.
- Aquilani, Barbara, Cecilia Silvestri, Alessandro Ruggieri, and Corrado Gatti. 2017. "Aquilani." *The TQM Journal* 29 (1): 184–213.
- Armbruster, Heidi, Andrea Bikfalvi, Steffen Kinkel, and Gunter Lay. 2008. "Organizational

- Innovation: The Challenge of Measuring Non-Technical Innovation in Large-Scale Surveys." *Technovation* 28 (10): 644–57. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2008.03.003>.
- Atzori, Luigi, Antonio Iera, and Giacomo Morabito. 2010. "The Internet of Things: A Survey." *Computer Networks* 54 (15): 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>.
- Babiceanu, Radu F., and Remzi Seker. 2016. "Big Data and Virtualization for Manufacturing Cyber-Physical Systems: A Survey of the Current Status and Future Outlook." *Computers in Industry* 81: 128–37. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.02.004>.
- Bagshaw, Karibo B. 2017. "Process and Product Design: Production Efficiency of Manufacturing Firms in Rivers State, Nigeria." *Engineering Management Research* 6 (1): 49. <https://doi.org/10.5539/emr.v6n1p49>.
- Bagshaw, Karibo Benaiah, and Kalio Linda Nissi. 2019. "Trend in Viewing Quantitative Analysis as a Primary Function Involving Decision Making in Organisations." *American Journal of Industrial and Business Management* 09 (06): 1492–1505. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2019.96099>.
- Barañano, Ana Maria. 2003. "The Non-Technological Side of Technological Innovation: State-of-the-Art and Guidelines for Further Empirical Research." *International Journal of Entrepreneurship and Innovation Management* 3 (1/2): 107. <https://doi.org/10.1504/IJEIM.2003.002223>.
- Barney, Jay B., Richard R. Nelson, and Sidney G. Winter. 1987. "An Evolutionary Theory of Economic Change." *Administrative Science Quarterly* 32 (2): 315. <https://doi.org/10.2307/2393143>.
- Behzadian, Majid, R. B. Kazemzadeh, A. Albadvi, and M. Aghdasi. 2010. "PROMETHEE: A Comprehensive Literature Review on Methodologies and Applications." *European Journal of Operational Research* 200 (1): 198–215. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.021>.
- Belvedere, Valeria, Alberto Grandi, and Paola Bielli. 2013. "A Quantitative Investigation of the Role of Information and Communication Technologies in the Implementation of a Product-Service System." *International Journal of Production Research* 51 (2): 410–26. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.648278>.
- Benayoun, R, B Roy, and B Sussman. 1966. "ELECTRE: Une Méthode Pour Guider Le Choix En Présence de Points de Vue Multiples." *SEMAMETRA International*, no. Note de travail 49,.
- Benešová, Andrea, and Jiří Tupa. 2017. "Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0." *Procedia Manufacturing* 11: 2195–2202. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.366>.
- Berman, Barry. 2012. "3-D Printing: The New Industrial Revolution." *Business Horizons* 55 (2): 155–62. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>.
- "Big Data." 2019. 2019. <https://edtechnology.co.uk/Article/review-roundtable-simon->

harbridge/.

- Bogojević, Branislav, Bojan Lalić, Nemanja Tasić, Tanja Todorović, and Goran Tepić. 2018. "Uloga Visokoškolskog Obrazovanja i Značaj E-Učenja u Četvrtoj Industrijskoj Revoluciji." In *XXIV Skup TRENDOVI RAZVOJA: "DIGITALIZACIJA VISOKOG OBRAZOVANJA*, 1–4.
- Branco, Teófilo, Filipe De Sá-Soares, and Alfonso Lopez Rivero. 2017. "Key Issues for the Successful Adoption of Cloud Computing." *Procedia Computer Science* 121: 115–22. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.016>.
- Brans, J.P. 1982. "L'ingenierie de La Decision. Elaboration Dinstruments Daide a La Decision. Methode PROMETHEE." In *Laide a La Decision: Nature, Instrument Set Perspectives*, edited by M. Nadeau, R., Landry, 183–214. Quebec, Canada: Presses de Universite Laval.
- Brettel, Malte, Niklas Friederichsen, Michael Keller, and Marius Rosenberg. 2014. "How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective." *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* 8 (1): 37–44. <http://www.waset.org/publications/9997144>.
- Browning, Tyson R, Steven D Eppinger, Danilo M Schmidt, and Udo Lindemann. 2015. "Modeling and Managing Complex Systems." In *In: Proceedings of the 17th International DSM Conference*, 4–6.
- Brussels: European Commission. n.d. "Horizon 2020: The EU Framework Programme for Research and Innovation." Accessed October 30, 2019. <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>.
- Büyükközkın, Gülçin, and Fethullah Göçer. 2018. "Digital Supply Chain: Literature Review and a Proposed Framework for Future Research." *Computers in Industry* 97: 157–77. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.010>.
- Camisón, César, and Ana Villar-López. 2014. "Organizational Innovation as an Enabler of Technological Innovation Capabilities and Firm Performance." *Journal of Business Research* 67 (1): 2891–2902. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2012.06.004>.
- Cheng, Bo, Jingyi Zhang, Gerhard P. Hancke, Stamatis Karnouskos, and Armando Walter Colombo. 2018. "Industrial Cyberphysical Systems: Realizing Cloud-Based Big Data Infrastructures." *IEEE Industrial Electronics Magazine* 12 (1): 25–35. <https://doi.org/10.1109/MIE.2017.2788850>.
- Chong, Li, Seeram Ramakrishna, and Sunpreet Singh. 2018. "A Review of Digital Manufacturing-Based Hybrid Additive Manufacturing Processes." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 95 (5–8): 2281–2300. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1345-3>.
- Chrysolouris, G., S. Makris, V. Xanthakis, and D. Mourtzis. 2004. "Towards the Internet-Based Supply Chain Management for the Ship Repair Industry." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 17 (1): 45–57.

- <https://doi.org/10.1080/0951192031000080885>.
- Chua, Chee Kai, Kah Fai Leong, and Chu Sing Lim. 2010. *Rapid Prototyping: Principles and Applications*. *Rapid Prototyping*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. https://doi.org/10.1142/9789812778994_0006.
- Cochran, William G. 1977. *Sampling Techniques*.
- Čupić, M. 1987. *Uvod u Teoriju Odlučivanja*. Beograd: Naučna knjiga.
- Čupić, M., and M. Suknović. 2008. *Odlučivanje*. 6th ed. Beograd: Fakultet organizacionih nauka.
- Dahlgaard, Jens J., and Su Mi Dahlgaard-Park. 2006. "Lean Production, Six Sigma Quality, TQM and Company Culture." *TQM Magazine* 18 (3): 263–81. <https://doi.org/10.1108/09544780610659998>.
- Dalenogare, Lucas Santos, Guilherme Brittes Benitez, Néstor Fabián Ayala, and Alejandro Germán Frank. 2018. "The Expected Contribution of Industry 4.0 Technologies for Industrial Performance." *International Journal of Production Economics* 204 (August): 383–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>.
- Dawson, Jeremy, Malcolm Patterson, Kamal Birdi, Michael A. West, and Helen Shipton. 2010. "HRM as a Predictor of Innovation." *Human Resource Management Journal* 16 (1): 3–27. <https://doi.org/10.1111/j.1748-8583.2006.00002.x>.
- Dillman, Don A., Jolene D. Smyth, and Melani Leah Christian. 2014. *Internet, Phone, Mail, and Mixed-Mode Surveys: The Tailored Design Method*. <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00005141-201030030-00009>.
- Ding, Kai, Pingyu Jiang, Peilu Sun, and Chuang Wang. 2017. "RFID-Enabled Physical Object Tracking in Process Flow Based on an Enhanced Graphical Deduction Modeling Method." *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 47 (11): 3006–18. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2016.2558104>.
- Drath, Rainer, and Alexander Horch. 2014. "Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]." *IEEE Industrial Electronics Magazine* 8 (2): 56–58. <https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079>.
- Droege, Henning, Dagmar Hildebrand, and Miguel A Heras Forcada. 2009. "Innovation in Services: Present Findings, and Future Pathways." *Journal of Service Management* 20 (2): 131–55. <https://doi.org/10.1108/09564230910952744>.
- Dubois, D., and H. Prade. 1980. *Fuzzy Sets and Systems*. *Fuzzy Sets and Systems*. New York, United States: Academic Press.
- "European Manufacturing Survey." 2018. 2018. <https://www.isi.fraunhofer.de/en/themen/industrielle-wettbewerbsfaehigkeit/fems.html>.
- Fagerberg, Jan, David Mowery, and Richard Nelson. 2004. *Oxford Handbook of Innovation*.

- Fantini, Paola, Marta Pinzone, and Marco Taisch. 2018. "Placing the Operator at the Centre of Industry 4.0 Design: Modelling and Assessing Human Activities within Cyber-Physical Systems." *Computers and Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.01.025>.
- Fazlzadeh, Alireza, and Mohamad Reza Khoshhal. 2012. "Strategic Human Resource Practices and Innovation Performance — The Mediating Role of Knowledge Management Capacity." *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1672243>.
- Filipov, V, and P Vasilev. 2016. "Manufacturing Operations Management - The Smart Backbone Of Industry 4 . 0." *International Scientific Conference "Inudstry 4.0"* 27/213 (1): 8–13. <http://stumejournals.com/ni/2016/27-213.pdf>.
- Frank, Alejandro Germán, Marcelo Nogueira Cortimiglia, José Luis Duarte Ribeiro, and Lindomar Subtil de Oliveira. 2016. "The Effect of Innovation Activities on Innovation Outputs in the Brazilian Industry: Market-Orientation vs. Technology-Acquisition Strategies." *Research Policy* 45 (3): 577–92. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.11.011>.
- Frank, Alejandro Germán, Lucas Santos Dalenogare, and Néstor Fabián Ayala. 2019. "Industry 4.0 Technologies: Implementation Patterns in Manufacturing Companies." *International Journal of Production Economics* 210 (January): 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>.
- Frank, Alejandro Germán, José Luis Duarte Ribeiro, and Márcia Elisa Echeveste. 2015. "Factors Influencing Knowledge Transfer between NPD Teams: A Taxonomic Analysis Based on a Sociotechnical Approach." *R and D Management* 45 (1): 1–22. <https://doi.org/10.1111/radm.12046>.
- Frouin, Marc. 2013. *3DExperiences – Dassault Systèmes Strategy to Support New Processes in Product Development and Early Customer Involvement A Software Tool Editor 's View to Challenge the Smart Product Engineering Revolution*. *23rd CIRP Design Conference*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-30817-8>.
- Gao, Wei, Yunbo Zhang, Devarajan Ramanujan, Karthik Ramani, Yong Chen, Christopher B. Williams, Charlie C.L. Wang, Yung C. Shin, Song Zhang, and Pablo D. Zavattieri. 2015. "The Status, Challenges, and Future of Additive Manufacturing in Engineering." *CAD Computer Aided Design* 69: 65–89. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2015.04.001>.
- Gatti, Elena, and Christina Richter. 2019. "„Made in China 2025“." *Digitales China*, 119–31. https://doi.org/10.1007/978-3-658-18692-0_12.
- Gecevska, Valentina, Paolo Chiabert, Zoran Anisic, Franco Lombardi, and Franc Cus. 2010. "Product Lifecycle Management through Innovative and Competitive Business Environment." *Journal of Industrial Engineering and Management* 3 (2). <https://doi.org/10.3926/jiem.2010.v3n2.p323-336>.
- GOS-Foresight. 2013. "The Future of Manufacturing: A New Era of Opportunity and Challenge for the UK."
- Goubergen, Dirk Van, and Hendrik Van Landeghem. 2002. "Rules for Integrating Fast

- Changeover Capabilities into New Equipment Design.” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 18 (3–4): 205–14. [https://doi.org/10.1016/S0736-5845\(02\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0736-5845(02)00011-X).
- Groover, Mikell P. 2015. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Fourth edi. New Jersey, USA: Pearson Higher Education, Inc. <https://doi.org/10.5743/cairo/9789774163975.003.0002>.
- Guo, Z. X., E. W.T. Ngai, Can Yang, and Xuedong Liang. 2015. “An RFID-Based Intelligent Decision Support System Architecture for Production Monitoring and Scheduling in a Distributed Manufacturing Environment.” *International Journal of Production Economics* 159: 16–28. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.004>.
- Hannibal, Martin, and Gary Knight. 2018. “Additive Manufacturing and the Global Factory: Disruptive Technologies and the Location of International Business.” *International Business Review* 27 (6): 1116–27. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2018.04.003>.
- He, Hongmei, Carsten Maple, Tim Watson, Ashutosh Tiwari, Jörn Mehnen, Yaochu Jin, and Bogdan Gabrys. 2016. “The Security Challenges in the IoT Enabled Cyber-Physical Systems and Opportunities for Evolutionary Computing & Other Computational Intelligence.” In *2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2016*, 1015–21. <https://doi.org/10.1109/CEC.2016.7743900>.
- Heppelmann, James E, and Michael Porter. 2014. “How Smart, Connected Products Are Transforming Competition.” *Harvard Business Review* 11 (November): 64–88.
- Heras-Saizarbitoria, Iñaki, Olivier Boiral, and Erlantz Allur. 2018. “Three Decades of Dissemination of ISO 9001 and Two of ISO 14001: Looking Back and Ahead.” *Measuring Operations Performance*, 1–15. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65675-5_1.
- Hershauer, James C., and Herbert A. Simon. 1978. *The New Science of Management Decision. The Academy of Management Review*. Vol. 3. <https://doi.org/10.2307/257591>.
- Hines, Peter, and Nick Rich. 1997. “The Seven Value Stream Mapping Tools.” *International Journal of Operations and Production Management* 17 (1): 46–64. <https://doi.org/10.1108/01443579710157989>.
- Hwang, Ching-Lai, and Kwangsun Yoon. 1981. *Multiple Attribute Decision Making*. Vol. 186. New York, United States: Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>.
- “Internet of Things.” 2019. 2019. <https://www.bitmat.it/specialesicurezza/news/3852/dispositivi-iot-insieme-al-mercato-cresce-la-diffusione-del-malware#.XjAcsmhKiUk>.
- Jebaraj Benjamin, Samuel, Uthiyakumar Murugaiah, and M. Srikamaladevi Marathamuthu. 2013. “The Use of SMED to Eliminate Small Stops in a Manufacturing Firm.” *Journal of Manufacturing Technology Management* 24 (5): 792–807. <https://doi.org/10.1108/17410381311328016>.
- Jong, John R. de. 1983. *MOST Work Measurement Systems. European Journal of Operational*

- Research. Vol. 12. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(83\)90233-3](https://doi.org/10.1016/0377-2217(83)90233-3).
- Kagermann, H., W. Wahlster, and J. Helbig. 2013. "Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0." *Final Report of the Industrie 4.0 WG*. Frankfurt, Germany. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1205.8966>.
- Kagermann, Henning. 2015. "Change through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0." *Management of Permanent Change*. https://doi.org/10.1007/978-3-658-05014-6_2.
- Kang, Hyoung Seok, Ju Yeon Lee, Sangsu Choi, Hyun Kim, Jun Hee Park, Ji Yeon Son, Bo Hyun Kim, and Sang Do Noh. 2016. "Smart Manufacturing: Past Research, Present Findings, and Future Directions." *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology* 3 (1): 111–28. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>.
- Karcher, Phillip, and Roland Jochem. 2015. "Success Factors and Organizational Approaches for the Implementation of Energy Management Systems According to ISO 50001." *TQM Journal* 27 (4): 361–81. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2015-0016>.
- Keyser, Wim De, and Peter Peeters. 1996. "A Note on the Use of PROMETHEE Multicriteria Methods." *European Journal of Operational Research* 89 (3): 457–61. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00307-6](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00307-6).
- Khaitan, Siddhartha Kumar, and James D. McCalley. 2015. "Design Techniques and Applications of Cyberphysical Systems: A Survey." *IEEE Systems Journal* 9 (2): 350–65. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2014.2322503>.
- Kim, Hoejin, Yirong Lin, and Tzu Liang Bill Tseng. 2018. "A Review on Quality Control in Additive Manufacturing." *Rapid Prototyping Journal* 24 (3): 645–69. <https://doi.org/10.1108/RPJ-03-2017-0048>.
- King, Andrew A., Michael J. Lenox, and Ann Terlaak. 2005. "The Strategic Use of Decentralized Institutions: Exploring Certification with the ISO 14001 Management Standard." *Academy of Management Journal* 48 (6): 1091–1106. <https://doi.org/10.5465/AMJ.2005.19573111>.
- Kloibhofer, Reinhard, Erwin Kristen, and Stefan Jakšić. 2018. "Safety and Security in a Smart Production Environment." In *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11094 LNCS:190–201. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99229-7_17.
- Koren, Rolando, Jasna Prester, Borut Buchmeister, and Iztok Palčič. 2016. "Do Organisational Innovations Have Impact on Launching New Products on the Market?" *Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering* 62 (6): 389–97. <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2016.3470>.
- Krawczyński, Michał, Piotr Czyzewski, and Karol Bocian. 2016. "Reindustrialization: A Challenge to the Economy in the First Quarter of the Twenty-First Century." *Foundations of Management* 8 (1): 107–22. <https://doi.org/10.1515/fman-2016-0009>.
- Krishnamurthy, Srikanth, and Ibrahim Zeid. 2004. "Distributed and Intelligent Information

- Access in Manufacturing Enterprises through Mobile Devices.” *Journal of Intelligent Manufacturing* 15 (2): 175–86. <https://doi.org/10.1023/B:JIMS.0000018031.44635.5d>.
- Kumar, A., E.K. Mussada, M. Ashif, D. Tyagi, and A.K. Srivastava. 2017. “Fuzzy Delphi and Hybrid AH-MATEL Integration for Monitoring of Paint Utilization.” *Advances in Production Engineering & Management* 12 (1): 41–50. <https://doi.org/10.14743/apem2017.1.238>.
- Lam, A. 2005. “Organizational Innovation.” In *The Oxford Handbook of Innovation*, edited by Richard R. Nelson Jan Fagerberg, David C. Mowery, 115–47. Oxford.
- Lasi, Heiner, Peter Fette, Hans Georg Kemper, Thomas Feld, and Michael Hoffmann. 2014. “Industry 4.0.” *Business and Information Systems Engineering* 6 (4): 239–42. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>.
- Lee, Edward A. 2008. “Cyber Physical Systems: Design Challenges.” In *Proceedings - 11th IEEE Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing, ISORC 2008*, 363–69. <https://doi.org/10.1109/ISORC.2008.25>.
- Lemu, Hirpa G. 2014. “Virtual Engineering in Design and Manufacturing.” *Advances in Manufacturing* 2 (4): 289–94. <https://doi.org/10.1007/s40436-014-0085-y>.
- Liao, Yongxin, Fernando Deschamps, Eduardo de Freitas Rocha Loures, and Luiz Felipe Pierin Ramos. 2017. “Past, Present and Future of Industry 4.0 - a Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal.” *International Journal of Production Research* 55 (12): 3609–29. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>.
- Liu, Dongsheng, and Chunhua Ju. 2010. “Mobile Worker Information Support Based Context in Manufacturing Companies.” *Advanced Materials Research* 102–104: 813–16. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.102-104.813>.
- Lokshin, Boris, Anita Van Gils, and Eva Bauer. 2009. “Crafting Firm Competencies to Improve Innovative Performance.” *European Management Journal* 27 (3): 187–96. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2008.08.005>.
- Longo, Francesco, Letizia Nicoletti, and Antonio Padovano. 2017. “Smart Operators in Industry 4.0: A Human-Centered Approach to Enhance Operators’ Capabilities and Competencies within the New Smart Factory Context.” *Computers and Industrial Engineering* 113: 144–59. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.016>.
- Lucke, Dominik, Carmen Constantinescu, and Engelbert Westkämper. 2008. “Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing.” In *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*, 115–18. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-267-8_23.
- Lund, Denise, Carrie MacGillivray, Vernon Turner, and Mario Morales. 2014. “Worldwide and Regional Internet of Things (IoT) 2014–2020 Forecast : A Virtuous Circle of Proven Value and Demand.” *IDC Analyze the Future*. <https://doi.org/10.1037/a0020311>.
- Ma Prieto, Isabel, and Ma Pilar Perez-Santana. 2014. “Managing Innovative Work Behavior: The Role of Human Resource Practices.” *Personnel Review* 43 (2): 184–208.

- Macharis, Cathy, Johan Springael, Klaas De Brucker, and Alain Verbeke. 2004. "PROMETHEE and AHP: The Design of Operational Synergies in Multicriteria Analysis - Strengthening PROMETHEE with Ideas of AHP." *European Journal of Operational Research* 153 (2): 307–17. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00153-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00153-X).
- Makrini, Ilias El, Shirley A. Elprama, Jan Van Den Bergh, Bram Vanderborght, Albert Jan Knevels, Charlotte I.C. Jewell, Frank Stals, et al. 2018. "Working with Walt: How a Cobot Was Developed and Inserted on an Auto Assembly Line." *IEEE Robotics and Automation Magazine* 25 (2): 51–58. <https://doi.org/10.1109/MRA.2018.2815947>.
- Mandić, Vesna, and Predrag Ćosić. 2011. "Integrated Product and Process Development in Collaborative Virtual Engineering Environment." *Tehnicki Vjesnik* 18 (3): 369–78.
- Mardani, Abbas, Ahmad Jusoh, Khalil MD Nor, Zainab Khalifah, Norhayati Zakwan, and Alireza Valipour. 2015. "Multiple Criteria Decision-Making Techniques and Their Applications – a Review of the Literature from 2000 to 2014." *Economic Research-Ekonomska Istraživanja* 28 (1): 516–71. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>.
- Mardani, Abbas, Ahmad Jusoh, and Edmundas Kazimieras Zavadskas. 2015. "Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Techniques and Applications - Two Decades Review from 1994 to 2014." *Expert Systems with Applications* 42 (8): 4126–48. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.003>.
- Marodin, Giuliano Almeida, Guilherme Luz Tortorella, Alejandro Germán Frank, and Moacir Godinho Filho. 2017. "The Moderating Effect of Lean Supply Chain Management on the Impact of Lean Shop Floor Practices on Quality and Inventory." *Supply Chain Management* 22 (6): 473–85. <https://doi.org/10.1108/SCM-10-2016-0350>.
- Marsili, Orietta, and Ammon Salter. 2006. "The Dark Matter of Innovation: Design and Innovative Performance in Dutch Manufacturing." *Technology Analysis and Strategic Management* 18 (5): 515–34. <https://doi.org/10.1080/09537320601019628>.
- Martin-Rios, Carlos, and Eva Parga-Dans. 2016. "The Early Bird Gets the Worm, But the Second Mouse Gets the Cheese: Non-Technological Innovation in Creative Industries." *Creativity and Innovation Management* 25 (1): 6–17. <https://doi.org/10.1111/caim.12131>.
- Mavrikios, D., V. Karabatsou, D. Fragos, and G. Chryssolouris. 2006. "A Prototype Virtual Reality-Based Demonstrator for Immersive and Interactive Simulation of Welding Processes." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 19 (3): 294–300. <https://doi.org/10.1080/09511920500340916>.
- McDonald, T., E.M. Van Aken, and A.F. Rentes. 2002. "Utilizing Simulation to Enhance Value Stream Mapping: A Manufacturing Case Application." *International Journal of Logistics: Research and Applications* 5 (2): 213–232.
- Medić, N., Z. Anišić, B. Lalić, U. Marjanović, and M. Brezocnik. 2019. "Hybrid Fuzzy Multi-Attribute Decision Making Model for Evaluation of Advanced Digital Technologies in Manufacturing: Industry 4.0 Perspective." *Advances in Production Engineering And Management* 14 (4): 483–93. <https://doi.org/10.14743/apem2019.4.343>.

- Medojevic, Milovan, Nenad Medic, Ugljesa Marjanovic, Bojan Lalic, and Vidosav Majstorovic. 2019. "Exploring the Impact of Industry 4.0 Concepts on Energy and Environmental Management Systems: Evidence from Serbian Manufacturing Companies." In *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 567:355–62. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29996-5_41.
- Michels, BT. 2007. *Application of Shingo's Single Minute Exchange of Dies (SMED) Methodology to Reduce Punch Press Changeover Times at Krueger International*. <https://minds.wisconsin.edu/bitstream/handle/1793/42407/2007michelsb.pdf?sequence=1>.
- Morgan, James M, and Jeffrey K Liker. 2006. *The Toyota Product Development System: Integrating People, Process And Technology*. *Journal of Product Innovation Management*. Vol. 24. https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2007.00250_1.x.
- Morrow, Elizabeth, Glenn Robert, Jill Maben, and Peter Griffiths. 2012. "Implementing Large-Scale Quality Improvement: Lessons from The Productive Ward: Releasing Time to Care™." *International Journal of Health Care Quality Assurance* 25 (4): 237–53. <https://doi.org/10.1108/09526861211221464>.
- Mourtzis, D., M. Doukas, and D. Bernidaki. 2014. "Simulation in Manufacturing: Review and Challenges." *Procedia CIRP* 25 (C): 213–29. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.032>.
- Mourtzis, D., E. Vlachou, and N. Milas. 2016. "Industrial Big Data as a Result of IoT Adoption in Manufacturing." *Procedia CIRP* 55: 290–95. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.038>.
- Mourtzis, Dimitris, Nikolaos Papakostas, Dimitris Mavrikios, Sotiris Makris, and Kosmas Alexopoulos. 2015. "The Role of Simulation in Digital Manufacturing: Applications and Outlook." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 28 (1): 3–24. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2013.800234>.
- Moxham, Claire, and Richard Greatbanks. 2001. "Prerequisites for the Implementation of the SMED Methodology: A Study in a Textile Processing Environment." *International Journal of Quality and Reliability Management* 18 (4): 404–14. <https://doi.org/10.1108/02656710110386798>.
- Nakata, Cheryl, and Kelly Weidner. 2012. "Enhancing New Product Adoption at the Base of the Pyramid: A Contextualized Model." *Journal of Product Innovation Management* 29 (1): 21–32. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2011.00876.x>.
- Nathan, Andrew J., and Andrew Scobell. 2012. *How China Sees America*. *Foreign Affairs*. Vol. 91. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Nayak, Rajkishore. 2019. *Radio Frequency Identification (RFID) Technology and Application in Fashion and Textile Supply Chain*. *Radio Frequency Identification (RFID) Technology and Application in Fashion and Textile Supply Chain*. <https://doi.org/10.1201/9781351238250>.
- Nestinger, Stephen S., Bo Chen, and Harry H. Cheng. 2010. "A Mobile Agent-Based

- Framework for Flexible Automation Systems." *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* 15 (6): 942–51. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2009.2036169>.
- Oborski, Przemysław. 2018. "Integration of Machine Operators with Shop Floor Control System for Industry 4.0." *Management and Production Engineering Review* 9 (4): 48–55. <https://doi.org/10.24425/119545>.
- OECD. 2007. *Oslo Manual. Communities*. Vol. Third edit. <https://doi.org/10.1787/9789264065659-es>.
- Opricovic, S. 1998. *Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems*. Faculty of Civil Engineering, Belgrade. [http://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Opricovic,+S.+\(1998\).+&btnG=&lr=#3](http://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Opricovic,+S.+(1998).+&btnG=&lr=#3).
- Opricovic, Serafim, and Gwo Hsiung Tzeng. 2004. "Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS." *European Journal of Operational Research* 156 (2): 445–55. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1).
- P.J.M. van Laarhoven and W. Pedrycz. 1983. "A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory." *Fuzzy Sets and Systems* 11 (1–3): 229–41.
- Palmarini, Riccardo, John Ahmet Erkoyuncu, Rajkumar Roy, and Hosein Torabmostaedi. 2018. "A Systematic Review of Augmented Reality Applications in Maintenance." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 49: 215–28. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>.
- Pamučar, D. 2017. *Operaciona Istraživanja: Determinističke Metode i Modeli*. Beograd: RABEK.
- Patil, Sachin K., and Ravi Kant. 2014. "A Hybrid Approach Based on Fuzzy DEMATEL and FMCDM to Predict Success of Knowledge Management Adoption in Supply Chain." *Applied Soft Computing Journal* 18: 126–35. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.027>.
- Pedersen, Mikkel Rath, Lazaros Nalpantidis, Rasmus Skovgaard Andersen, Casper Schou, Simon Bøgh, Volker Krüger, and Ole Madsen. 2016. "Robot Skills for Manufacturing: From Concept to Industrial Deployment." *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 37: 282–91. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.04.002>.
- Piedrahita, Andrés F. Murillo, Vikram Gaur, Jairo Giraldo, Alvaro A. Cardenas, and Sandra Julieta Rueda. 2018. "Virtual Incident Response Functions in Control Systems." *Computer Networks* 135: 147–59. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.01.040>.
- Posada, Jorge, Carlos Toro, Iñigo Barandiaran, David Oyarzun, Didier Stricker, Raffaele De Amicis, Eduardo B. Pinto, Peter Eisert, Jürgen Döllner, and Ivan Vallarino. 2015. "Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet." *IEEE Computer Graphics and Applications* 35 (2): 26–40. <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.45>.
- Psomas, Evangelos, and Dimitrios Kafetzopoulos. 2014. "The Innovation Practices of Manufacturing Companies in a Period of Economic Turbulence: The Greek Case." *Total*

- Quality Management & Business Excellence* 25 (7–8): 720–33.
<https://doi.org/10.1080/14783363.2014.906113>.
- Ptak, Carol A, and Eli Schragenheim. 2000. *ERP: Tools, Techniques, and Applications for Integrating the Supply Chain*. St. Lucie Press/APICS Series on Resource Management.
- Qi, Qinglin, and Fei Tao. 2018. “Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison.” *IEEE Access* 6: 3585–93.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2793265>.
- Qin, Jian, Ying Liu, and Roger Grosvenor. 2016. “A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond.” *Procedia CIRP* 52: 173–78.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.005>.
- Qiu, Xuan, Hao Luo, Gangyan Xu, Runyang Zhong, and George Q. Huang. 2015. “Physical Assets and Service Sharing for IoT-Enabled Supply Hub in Industrial Park (SHIP).” *International Journal of Production Economics* 159: 4–15.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.001>.
- Rahman Abdul Rahim, Abd, and Mohd Shariff Nabi Baksh. 2003. “The Need for a New Product Development Framework for Engineer-to-Order Products.” *European Journal of Innovation Management* 6 (3): 182–96. <https://doi.org/10.1108/14601060310486253>.
- Ramani, Shyama V., Ajay Thutupalli, and Eduardo Urias. 2017. “High-Value Hi-Tech Product Introduction in Emerging Countries.” *Qualitative Market Research: An International Journal* 20 (2): 208–25. <https://doi.org/10.1108/qmr-01-2017-0034>.
- Rao, R. Venkata. 2007. *Decision Making in the Manufacturing Environment*. Decision Making in the Manufacturing Environment. Springer-Verlag London.
<https://doi.org/10.1007/978-1-84628-819-7>.
- Reid, Dan, and Nada Sanders. 2013. *Operations Management: An Integrated Approach*. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Reif, Rafael, Ann Jackson Shirley, and Andrew Liveris. 2014. “Report To The President Accelerating U.S. Advanced Manufacturing.” *Washington, DC: The President’s Council of Advisors on Science and Technology*. https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1964.033_g.x.
- Richter, Alexander, Shahper Vodanovich, Melanie Steinhüser, and Lea Hannola. 2017. “IT on the Shop Floor - Challenges of the Digitalization of Manufacturing Companies.” In *30th Bled EConference: Digital Transformation - From Connecting Things to Transforming Our Lives, BLED 2017*, 483–500. <https://doi.org/10.18690/978-961-286-043-1.34>.
- Rigby, D.K., K. Gruver, and J. Allen. 2009. “Innovation in Turbulent Times.” *Harvard Business Review* 87 (6). <https://doi.org/Article>.
- Rodič, Blaž. 2017. “Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm.” *Organizacija* 50 (3): 193–207. <https://doi.org/10.1515/orga-2017-0017>.
- Roldán, Juan Jesús, Elena Peña-Tapia, Andrés Martín-Barrio, Miguel A. Olivares-Méndez, Jaime del Cerro, and Antonio Barrientos. 2017. “Multi-Robot Interfaces and Operator

- Situational Awareness: Study of the Impact of Immersion and Prediction.” *Sensors (Switzerland)* 17 (8). <https://doi.org/10.3390/s17081720>.
- Ross, David Frederick. 2010. *Introduction to Supply Chain Management Technologies: Second Edition*. *Introduction to Supply Chain Management Technologies: Second Edition*. <https://doi.org/10.1201/b10295>.
- Rother, Mike. 1999. *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. The Lean Enterprise Institute. <http://www.lean.org/Bookstore/ProductDetails.cfm?SelectedProductId=9>.
- Rüßmann, Michael, Markus Lorenz, Philipp Gerbert, Manuela Waldner, Jan Justus, Pascal Engel, and Michael Harnisch. 2015. “Industry 4.0.” *The Boston Consulting Group*, 20.
- Saaty, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, United States: McGraw-Hill.
- Saaty, T.L. 1996. “Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process.” *RWS Publications, 1996, ISBN 0-9620317-9-8, 370*. <http://www.rwspublications.com/books/anp/decision-making-with-dependence-and-feedback/>.
- Salkin, Ceren, Mahir Oner, Alp Ustundag, and Emre Cevikcan. 2018. “A Conceptual Framework for Industry 4.0.” In *Springer Series in Advanced Manufacturing*, 3–23. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5_1.
- Santos, Javier, Richard Wysk, and José Manuel Torres. 2006. *Improving Production with Lean Thinking*. *Improving Production with Lean Thinking*. <https://doi.org/10.1002/9781118984031>.
- Sari, Kazim. 2010. “Exploring the Impacts of Radio Frequency Identification (RFID) Technology on Supply Chain Performance.” *European Journal of Operational Research* 207 (1): 174–83. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.04.003>.
- Saxena, V. K., and Shashank Pushkar. 2016. “Cloud Computing Challenges and Implementations.” In *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques, ICEEOT 2016, 2583–88*. <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755159>.
- Schlechtendahl, Jan, Matthias Keinert, Felix Kretschmer, Armin Lechler, and Alexander Verl. 2015. “Making Existing Production Systems Industry 4.0-Ready.” *Production Engineering* 9 (1): 143–48. <https://doi.org/10.1007/s11740-014-0586-3>.
- Schmidt, Tobias, and Christian Rammer. 2011. “Non-Technological and Technological Innovation: Strange Bedfellows?” *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1010301>.
- Schumacher, Andreas, Selim Erol, and Wilfried Sihn. 2016. “A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises.” *Procedia CIRP* 52: 161–66. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>.
- Selić, Bran, and Sébastien Gérard. 2014. “Modeling Cyber-Physical Systems.” In *Modeling and Analysis of Real-Time and Embedded Systems with UML and MARTE*, 165–79.

<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-416619-6.00008-0>.

- Shannon, W Anderson, J Daniel Daly, and F Johnson Marilyn. 1999. "Why Firms Seek ISO 9000 Certification: Regulatory Compliance or Competitive Advantage?" *Production and Operations Management* 8 (1): 28. <http://proquest.umi.com/pqdweb?did=42600647&Fmt=7&clientId=28929&RQT=309&VName=PQD>.
- Shingo, Shigeo. 1985. *A Revolution in Manufacturing: The SMED System. A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Cambridge: Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9781315136479>.
- Siemieniuch, C. E., M. A. Sinclair, and M. J.C. Henshaw. 2015. "Global Drivers, Sustainable Manufacturing and Systems Ergonomics." *Applied Ergonomics* 51: 104–19. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.04.018>.
- Souza, Mariella Consoni Florenzano, Marco Sacco, and Arthur José Vieira Porto. 2006. "Virtual Manufacturing as a Way for the Factory of the Future." *Journal of Intelligent Manufacturing* 17 (6): 725–35. <https://doi.org/10.1007/s10845-006-0041-1>.
- Staats, Bradley R., David James Brunner, and David M. Upton. 2011. "Lean Principles, Learning, and Knowledge Work: Evidence from a Software Services Provider." *Journal of Operations Management* 29 (5): 376–90. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2010.11.005>.
- Stevens, Graham C, and Mark Johnson. 2016. "Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 46 (1): 1445. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-07-2015-0175>.
- Suri, Kunal, Arnaud Cuccuru, Juan Cadavid, Sebastien Gerard, Walid Gaaloul, and Samir Tata. 2017. "Model-Based Development of Modular Complex Systems for Accomplishing System Integration for Industry 4.0." In *MODELSWARD 2017 - Proceedings of the 5th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development*, 2017-Janua:487–95. <https://doi.org/10.5220/0006210504870495>.
- Syberfeldt, Anna, Oscar Danielsson, Magnus Holm, and Lihui Wang. 2015. "Visual Assembling Guidance Using Augmented Reality." *Procedia Manufacturing* 1: 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.068>.
- Taha, Zahari, and Sarkawt Rostam. 2011. "A Fuzzy AHP–ANN-Based Decision Support System for Machine Tool Selection in a Flexible Manufacturing Cell." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 57 (5–8): 719–33. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3323-5>.
- Takahashi, Kiyotaka, Yuji Ogata, and Youichi Nonaka. 2018. "A Proposal of Unified Reference Model for Smart Manufacturing." *IEEE International Conference on Automation Science and Engineering* 2017-Augus: 964–69. <https://doi.org/10.1109/COASE.2017.8256228>.
- The Hong Kong Electronic Industries Association (HKEIA). 2013. "Guidebook for ISO 50001," 104.
- Thoben, Klaus-Dieter, Stefan Wiesner, and Thorsten Wuest. 2017. "'Industrie 4.0' and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples." *International*

- Journal of Automation Technology* 11 (1): 4–16.
<https://doi.org/10.20965/ijat.2017.p0004>.
- Tommelein, Iris D. 1998. "Pull-Driven Scheduling for Pipe-Spool Installation: Simulation of Lean Construction Technique." *Journal of Construction Engineering and Management* 124 (4): 279–88. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:4\(279\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:4(279)).
- "Total Quality Management." 2018. 2018. <https://www.pharmawareness.com/know-about-total-quality-management-and-current-good-manufacturing-practices-cgmp/>.
- Trovinger, Sheri Coble, and Roger E. Bohn. 2009. "Setup Time Reduction for Electronics Assembly: Combining Simple (SMED) and IT-Based Methods." *Production and Operations Management* 14 (2): 205–17. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2005.tb00019.x>.
- Tsiotras, George, and Katerina Gotzamani. 1996. "ISO 9000 as an Entry Key to TQM: The Case of Greek Industry." *International Journal of Quality and Reliability Management* 13 (4): 64–76. <https://doi.org/10.1108/02656719610114407>.
- Umble, Elisabeth J., Ronald R. Haft, and M. Michael Umble. 2003. "Enterprise Resource Planning: Implementation Procedures and Critical Success Factors." *European Journal of Operational Research* 146 (2): 241–57. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00547-7](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00547-7).
- Wang, Chuang, and Pingyu Jiang. 2015. "The Approach of Hybrid Data on Tag in Decentralized Control System." In *2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems, IEEE-CYBER 2015*, 799–802. <https://doi.org/10.1109/CYBER.2015.7288045>.
- Wang, M. L., T. Qu, R. Y. Zhong, Q. Y. Dai, X. W. Zhang, and J. B. He. 2012. "A Radio Frequency Identification-Enabled Real-Time Manufacturing Execution System for One-of-a-Kind Production Manufacturing: A Case Study in Mould Industry." *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 25 (1): 20–34. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2011.575183>.
- Wang, Shiyong, Jiafu Wan, Di Li, and Chunhua Zhang. 2016. "Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook." *International Journal of Distributed Sensor Networks* 12 (1): 1–10. <https://doi.org/10.1155/2016/3159805>.
- Wang, Yu Min, Yi Shun Wang, and Yong Fu Yang. 2010. "Understanding the Determinants of RFID Adoption in the Manufacturing Industry." *Technological Forecasting and Social Change* 77 (5): 803–15. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.03.006>.
- Wei, Zelong, Xi Song, and Donghan Wang. 2017. "Manufacturing Flexibility, Business Model Design, and Firm Performance." *International Journal of Production Economics* 193: 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.07.004>.
- Wilson, Lonnie. 2010. *How to Implement Lean Manufacturing*. McGraw-Hill. Vol. 66. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Worrell, Ernst, Nathan Martin, Lynn Price, Michael Ruth, Neal Elliott, Anna Monis Shipley, and Jennifer Thorn. 2002. "Emerging Energy-Efficient Technologies for Industry." *Energy*

- Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering* 99 (2): 36–55.
<https://doi.org/10.1080/01998590209509345>.
- Xia F, Yang LT, Wang L, and Vinel A. 2018. “Internet of Things.” *Journal of Manufacturing Systems* 48: 157–69. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>.
- Xu, Li Da, Wu He, and Shancang Li. 2014. “Internet of Things in Industries: A Survey.” *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 10 (4): 2233–43.
<https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300753>.
- Xun, Xu. 2012. “From Cloud Computing to Cloud Manufacturing.” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 28 (1): 75–86.
- Yager, Ronald R. 1981. “A Procedure for Ordering Fuzzy Subsets of the Unit Interval.” *Information Sciences* 24 (2): 143–61. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(81\)90017-7](https://doi.org/10.1016/0020-0255(81)90017-7).
- Zadeh, L.A. 1965. “Fuzzy Sets.” *Information and Control* 8 (3): 338–53.
[https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).
- Zennaro, Ilenia, Serena Finco, Daria Battini, and Alessandro Persona. 2019. “Big Size Highly Customised Product Manufacturing Systems: A Literature Review and Future Research Agenda.” *International Journal of Production Research* 57 (15–16): 5362–85.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1582819>.
- Zhang, Peng. 2008. “Application Software for Industrial Control.” In *Industrial Control Technology*, 569–673. <https://doi.org/10.1016/b978-081551571-5.50006-2>.
- Zhong, Ray Y., George Q. Huang, Q. Y. Dai, and T. Zhang. 2014. “Mining SOTs and Dispatching Rules from RFID-Enabled Real-Time Shopfloor Production Data.” *Journal of Intelligent Manufacturing* 25 (4): 825–43. <https://doi.org/10.1007/s10845-012-0721-y>.
- Zhong, Ray Y., Xun Xu, Eberhard Klotz, and Stephen T. Newman. 2017. “Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review.” *Engineering* 3 (5): 616–30.
<https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>.
- Zhou, Shouqin, Weiqing Ling, and Zhongxiao Peng. 2007. “An RFID-Based Remote Monitoring System for Enterprise Internal Production Management.” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 33 (7–8): 837–44.
<https://doi.org/10.1007/s00170-006-0506-6>.
- Zimmermann, Hans-Jürgen. 1985. *Fuzzy Set Theory and Its Application*. New York, United States: Springer.
- Zunigaa, Pluvia, and Gustavo Crespi. 2013. “Innovation Strategies and Employment in Latin American Firms.” *Structural Change and Economic Dynamics* 24 (1): 1–17.
<https://doi.org/10.1016/j.strueco.2012.11.001>.

VIII. ПРИЛОГ – истраживачки инструмент

Koji od sledećih organizacionih koncepata su uvedeni u Vaše preduzeće?

ne	Organizacioni koncepti	da
Organizacija proizvodnje		
<input type="checkbox"/>	Standardizovane i detaljne pisane radne instrukcije (opis standardnog posla)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Mere unapređenja interne logistike (npr. Value Stream Mapping/Design)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Optimizacija procesa kako bi se smanjilo vreme pripreme mašina i zamene alata kada se menja proizvod ili grupa proizvoda na liniji (npr. SMED, QCO)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Integracija radnih zadataka (dodeljivanje većih ovlašćenja radniku na mašini, kao što su planiranje, upravljanje i dr.)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Organizacija proizvodnje prema PULL principu, tj. da kupac „vuče“ proizvod iz proizvodnje (npr. KANBAN, princip nultih međufaznih zaliha)	<input type="checkbox"/>
Upravljanje proizvodnjom i kontrola		
<input type="checkbox"/>	Table/ekrani u proizvodnji za nadgledanje rada mašina i uslova proizvodnje (npr. vizuelni menadžment)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Metode za obezbeđenje kvaliteta u proizvodnji (npr. preventivno održavanje, principi totalnog upravljanja kvalitetom-TQM)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Sertifikat standarda kvaliteta (npr. ISO 900xx)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Sertifikat za efikasno upravljanje energijom (npr. EN ISO 50001)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Metode operacionog menadžmenta za matematičku analizu procesa proizvodnje (npr. regresiona analiza, modeli čekanja)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Sertifikat za upravljanje zaštitom životne sredine (npr. EN ISO 14001)	<input type="checkbox"/>
Upravljanje ljudskim resursima		
<input type="checkbox"/>	Metode za promovisanje posvećenosti zaposlenih poslu (npr. mogućnost razvoja karijere, organizovano obdanište, fleksibilno radno vreme)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Obuka na radnom mestu (npr. rotacija poslova, mentorstvo, koučing)	<input type="checkbox"/>

Koje od sledećih tehnologija koristite u Vašem preduzeću?

ne	Tehnologije	da
Kontrola proizvodnje		
<input type="checkbox"/>	Mobilni/bežični uređaji za programiranje i rukovanje opremom i mašinama (npr. tableti)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Primena digitalnih rešenja u proizvodnom pogonu za prikaz crteža, radnih planova i radnih instrukcija	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Računarom podržano planiranje i upravljanje proizvodnjom (npr. ERP sistemi)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Digitalna razmena podataka o proizvodima/procesima proizvodnje sa dobavljačima/kupcima (menadžment lancima snabdevanja)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Sistemi za kontrolu i upravljanje proizvodnjom u realnom vremenu (npr. centralizovano i automatizovano prikupljanje podataka)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Sistemi za automatizaciju i menadžment internom logistikom (npr. RFID, računarski sistemi za upravljanje skladištenjem)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Sistemi za upravljanje životnim ciklusom proizvoda (PLM) ili upravljanje podacima o proizvodu/procesu	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Virtualna realnost ili simulacija za dizajn ili razvoj proizvoda (npr. FEM, digitalni prtotip, računarski modeli)	<input type="checkbox"/>
Automatika i robotika		
<input type="checkbox"/>	Industrijski roboti u proizvodnji (npr. zavarivanje, premazivanje ili bojenje, sečenje)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Industrijski roboti za poslove rukovanja materijalom (npr. montaža, sortiranje, pakovanje, paletiranje)	<input type="checkbox"/>
Aditivne proizvodne tehnologije		
<input type="checkbox"/>	Tehnologija 3D štampe za izradu prototipa, pokaznih modela, probne proizvodnje	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Tehnologija 3D štampe za proizvodnju proizvoda, komponenti, oblika, alata i sl.	<input type="checkbox"/>
Tehnologije energetske efikasnosti		
<input type="checkbox"/>	Tehnologija za reciklažu i ponovnu upotrebu vode (npr. sistem za recirkulaciju vode)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	Tehnologije za ponovnu upotrebu kinetičke ili energije iz proizvodnje (npr. prikupljanje toplote koja se generiše pri proizvodnji)	<input type="checkbox"/>

Šta od navedenih oblasti najbolje opisuju Vaš glavni proizvod ili liniju proizvoda?

Razvoj proizvoda ► Molimo Vas da odaberete samo jedno polje.		Proizvodnja/montaža ► Molimo Vas da odaberete samo jedno polje.	
◆ Prema specifikaciji kupca	<input type="checkbox"/>	◆ Po narudžbini kupca (tj. proizvodnja po narudžbini)	<input type="checkbox"/>
◆ Standardni asortiman kojem se dodaju opcije po želji kupaca	<input type="checkbox"/>	◆ Montaža finalnog proizvoda po primljenom nalogu od kupca (tj. montaža po narudžbini)	<input type="checkbox"/>
◆ Standardni asortiman iz kojeg kupac bira	<input type="checkbox"/>	◆ Proizvodnja za skladište (pre narudžbe kupca)	<input type="checkbox"/>
Veličina serije ► Molimo Vas da odaberete samo jedno polje.		Složenost proizvoda ► Molimo Vas da odaberete samo jedno polje.	
◆ Pojedinačna proizvodnja	<input type="checkbox"/>	◆ Jednostavan proizvod (npr. vijci)	<input type="checkbox"/>
◆ Mala ili srednja serija	<input type="checkbox"/>	◆ Proizvod srednjeg stepena složenosti (npr. pumpe i sl.)	<input type="checkbox"/>
◆ Velike serije	<input type="checkbox"/>	◆ Proizvod visokog stepena složenosti (npr. sistemi pogona)	<input type="checkbox"/>