



ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИМЕНА			
Лог. јед.	Број	Прилог	Вредност
012	952		

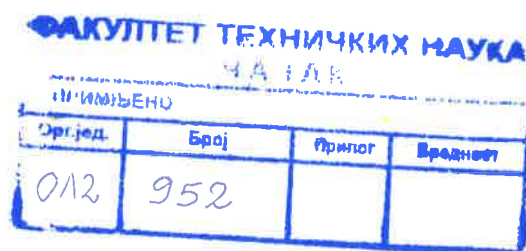
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У ЧАЧКУ

Сања Б. Пузовић

ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ ПРИСТУП РАЗВОЈУ ОПТИМАЛНОГ МОДЕЛА ПРОЦЕСА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ PLM КОНЦЕПТА

докторска дисертација

Чачак, 2025.



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES ČAČAK

Sanja B. Puzović

MULTICRITERIA APPROACH TO THE DEVELOPING AN OPTIMAL PLM IMPLEMENTATION PROCESS MODEL

Doctoral Dissertation

Čačak, 2025.

Аутор
Име и презиме: Сања Пузовић
Датум и место рођења: 29. јун 1989. Пријепоље
Садашње запослење: Асистент, Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу
Докторска дисертација
Наслов: Вишекритеријумски приступ развоју оптималног модела процеса имплементације PLM концепта
Број страница: 257
Број слика: 75
Број библиографских података: 487
Установа и место где је рад израђен: Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу
Научна област (УДК): 005:62(043:3) Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент
Ментор: др Јасмина Весић Васовић, редовни професор, Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу
Број и датум одлуке Већа универзитета о прихватању теме докторске дисертације: IV-04-884/10, 10.11.2021.

Захвалница

Посебну захвалност дугујем свом ментору др Јасмини Весић Васовић, редовном професору на Факултету техничких наука у Чачку, на великој професионалној помоћи и посвећености, али и на топлој људској речи, разумевању и подрици свих ових година.

Захваљујем се члановима Комисије за одбрану докторске дисертације на помоћи и подрици коју су ми пружили током рада на дисертацији.

Свима који су допринели реализацији истраживања, срдечно се захваљујем.

Захваљујем се и колегама са Катедре за индустријски менаџмент на подрици и саветима.

Највећу захвалност дугујем својој породици, родитељима Зорици и Брану, све што сам икада постигла дугујем њиховој љубави и подрици и брату Славиши, мојој највећој љубави, подрици и узору.

Апстракт

Product Lifecycle Management (PLM) представља један од водећих пословних концепата данашњице. PLM је заправо пружио парадигму на основу које је у условима глобалног умрежавања, све краћег животног циклуса производа и рефокусирања на стратегије брзог одговора на захтеве интересних група, било могуће успоставити одрживи раст пословних перформанси.

Упркос јачању PLM иницијативе у многим индустријама, предузећа се и даље суочавају са проблемом отежаног усвајања и сазревања у његовој примени, што се најчешће везује за недостатак методолошких приступа који би им помогли да мапирају латентне потребе, док се питање процене приоритета имплементационих напора занемарује, због чега најчешће нису у стању да ускладе модел развоја PLM компетенција са специфичним пословним потребама. У пракси се ово питање најчешће своди на предикцију утицаја на показатеље економске продуктивности и оперативне ефикасности, при чему се не узимају у обзир сви релевантни аспекти за правилно разумевање пословних потреба и специфичних пословних околности.

У дисертацији је развијен методолошки оквир имплементације PLM-а заснован на процесно оријентисаној парадигми и принципима итеративног и инкременталног развоја. Као најзначајније методолошко унапређење у односу на претходно установљене, оквир уводи интегрални вишекритеријумски модел оптимизације процеса имплементације PLM-а, заснован на *ex-ante* евалуацији у циљу утврђивања релативног приоритета специфичних подручја развоја PLM компетенција.

Комбинујући кључне елементе евалуације у циљу стварања јединственог и вишедимензионалног оквира модел интегрише 1) *Total Cost of Ownership* (TCO) модел предикције трошкова имплементације; 2) модел анализе ризика и 3) модел анализе сложености пројеката имплементације; 4) *Balanced Scorecard* (BSC) заснован модел евалуације стратешких доприноса PLM-а; 5) модел за предикцију утицаја PLM-а на организационе способности развоја нових производа. Циљ развијених модела је пружи холистички приступ који разматра све релевантне аспекте неопходне за правилно разумевање пословних потреба, ширих пословних околности и ограничења која из њих проистичу, узимајући у обзир потребе индустрије за усмеравањем PLM стратегије у правцу оснаживања иновационих потенцијала пословно производног система.

Предложена методологија евалуације користи методе вишекритеријумског одлучивања, укључујући *Analytic Hierarchy Process* (AHP) и *MULTIpllicative form of Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis* (MULTIMOORA) методу са унапређеним *Borda* правилем и *Quality Function Deployment* (QFD) анализу, чији су конвенционални концепти проширени *Interval Type-2 Fuzzy* (IT2F) скуповима.

Кључне речи: PLM концепт, вишекритеријумска анализа, методе вишекритеријумског одлучивања, QFD анализа, IT2F скупови

Abstract

Product Lifecycle Management (PLM) stands out as one of the leading business concepts of nowadays. PLM has provided a paradigm that has enabled the establishment of sustainable growth in business performance under the condition of global networking, increasingly shorter product lifecycles, and refocusing on strategies of rapid response to interest group demands.

Notwithstanding the strengthening of PLM initiatives across various industries, companies still struggle to implement and mature PLM. These challenges frequently arise from an absence of systematic methods to map latent needs, along with a tendency to overlook the prioritization of implementation efforts, resulting in difficulties aligning the PLM competency development model with specific business needs. In practice, this issue is frequently simplified to predicting the effects on economic productivity and operational efficiency indicators while neglecting all relevant factors essential for a proper understanding of business needs and particular contexts.

Within this thesis, a methodological framework was developed to support the implementation of PLM based on a process-oriented paradigm and the principles of iterative and incremental development. As the major methodological improvement over previously established ones, the framework introduces an integral multi-criteria model for optimizing the PLM implementation process, based on ex-ante evaluation aimed at determining the relative priority of specific areas of PLM competency development.

Combining essential aspects of evaluation to establish a unified and multidimensional framework, the model integrates 1) a Total Cost of Ownership (TCO) model for implementation costs prediction; 2) a project implementation risk analysis model; 3) a project implementation complexity analysis model; 4) a Balanced Scorecard (BSC)-based model for evaluating the PLM strategic contributions; and 5) a model for predicting the impact of PLM on new product development organizational capabilities. The model aims to provide a comprehensive approach that considers all relevant aspects essential for a proper understanding of business needs, broader business circumstances, and the constraints arising from them, taking into account the industry requirements to guide PLM strategy toward enhancing the innovation potential of the business production system.

The proposed evaluation methodology uses Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods, including the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the MULTIplicative form of Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis (MULTIMOORA) method with an improved Borda rule and Quality Function Deployment (QFD) analysis, whose conventional concepts are extended by Interval Type-2 Fuzzy (IT2F) sets.

Key words: PLM, multi-criteria analysis, MCDM methods, QFD analysis, IT2F sets

САДРЖАЈ

ЛИСТА СЛИКА.....	I
ЛИСТА ТАБЕЛА.....	III
ЛИСТА ИНДЕКСА	V
1 УВОДНА РАЗМАТРАЊА	1
1.1 Предмет и циљ истраживања	2
1.2 Хипотезе од којих се у истраживању полази.....	4
1.3 Методе истраживања.....	4
1.4 Оквирни садржај дисертације	5
2 PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT - НОВА ПАРАДИГМА УПРАВЉАЊА ПРОИЗВОДОМ	7
2.1 Актуелност PLM приступа у тренутним пословним околностима.....	9
2.2 Инжењерски оријентисана перспектива животног циклуса производа	10
2.3 Постојећи приступи концептуализацији PLM-а.....	13
2.4 Концептуална и технолошка еволуција PLM-а	16
2.5 Пословне вредности PLM-а.....	20
2.6 Технолошки контекст PLM-а	23
2.6.1 Функционални опсег PLM система	25
2.6.2 Компоненте и ИТ архитектура PLM система.....	27
2.6.3 Савремене тенденције у еволуцији PLM технологија	30
3 СПЕЦИФИЧНОСТИ ПРОЦЕСА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ PLM КОНЦЕПТА	33
3.1 Кључни фактори успеха у имплементацији PLM-а	36
3.2 Изазови у усвајању PLM концепта	37
3.3 Концепт и модели PLM зрелости (<i>PLM maturity</i>).....	38
3.4 Постојећа подршка у домену имплементације PLM-а.....	40
3.5 Постојећи методолошки оквири за подршку имплементацији PLM приступа	45
3.6 Недостаци или недовољно наглашени аспекти у постојећим приступима имплементацији PLM-а.....	51
4 ИНИЦИЈАЛНО ИСТРАЖИВАЊЕ	54
4.1 Прикупљање података	54
4.2 Резултати анкетног истраживања	55
4.3 Закључци изведени на основу иницијалног истраживања	61
5 ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА О КОНЦЕПТУ И МЕТОДАМА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА, ТЕОРИЈИ ФАЗИ СКУПОВА И QFD АНАЛИЗИ	62
5.1 Концепт вишекритеријумског одлучивања	62
5.1.1 Приступи у класификацији метода вишекритеријумског одлучивања.....	64
5.1.2 Приоритизација критеријума у процесу вишекритеријумског одлучивања	67
5.1.3 Моделирање неизвесности у процесу вишекритеријумског одлучивања	69
5.2 Примена теорије фазе скупова у вишекритеријумском одлучивању	71
5.2.1 Концепт фазе скупова типа-1.....	72
5.2.2 Концепт интервалних фазе скупова типа-2.....	74
5.1 Концепт АНР методе, модели проширени са теоријом фазе скупова.....	76
5.2 IT2FAHR модел.....	78
5.3 Концепт и применљивост MULTIMOORA методе	80
5.4 IT2FMULTIMOORA процес.....	83
5.5 Концепт QFD методе, ограничења конвенционалног модела, приступи оптимизацији, нова подручја примене.....	85
5.6 Модификовани QFD процес	90

6	ПРЕДЛОГ ОКВИРА ЗА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈУ PLM КОНЦЕПТА	93
6.1	DSDM модел итеративног и инкременталног развоја као подршка имплементацији PLM концепта	94
6.2	Генеричка структура предложеног процеса имплементације PLM концепта	96
6.2.1	Покретање и јачање PLM иницијативе	97
6.2.2	PLM трансформација	99
6.2.3	Контрола примене и унапређење PLM-а	103
7	РАЗВОЈ ОПТИМАЛНОГ МОДЕЛА ПРОЦЕСА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ PLM КОНЦЕПТА...104	
7.1	Приступи планирању имплементације PLM-а.....	105
7.2	Проблем евалуације пословних информационих система и постојећи приступи.....	108
7.3	Вишекритеријумски приступ евалуацији PLM функционалних подручја	111
7.4	Интегрални вишекритеријумски модел оптимизације процеса имплементације PLM-а.....	117
7.5	Предлог модела за анализу трошкова имплементације PLM-а.....	120
7.5.1	ТСО модел анализе трошкова имплементације PLM-а	122
7.6	Предлог модела за анализу сложености имплементације PLM-а	124
7.6.1	Концепт и карактеристични приступи проучавању сложености.....	124
7.6.2	Модел анализе сложености пројекта имплементације PLM-а	128
7.7	Предлог модела за анализу ризика имплементације PLM-а.....	133
7.7.1	Концепт ризика и методолошки приступи анализи ризика	133
7.7.2	Модел анализе ризика пројекта имплементације PLM-а.....	137
7.8	Предлог модела за анализу стратешких доприноса имплементације PLM-а.....	140
7.8.1	Banaced Scorecard концепт и његова применљивост	142
7.8.2	Модел анализе стратешких доприноса PLM-а	145
7.9	Предлог модела за анализу утицаја имплементације PLM-а на организационе способности развоја нових производа.....	148
7.9.1	Постојећи приступи евалуацији процеса развоја нових производа	149
7.9.2	Фактори успеха у развоју нових производа.....	153
7.9.3	Нормативно-контингентни модел евалуације процеса развоја нових производа	155
7.10	PLM функционални модел	163
8	СТУДИЈА СЛУЧАЈА.....174	
8.1	Приоритизација аспеката анализе PLM функционалних подручја	174
8.2	Анализа трошкова имплементације.....	177
8.3	Анализа сложености имплементације	178
8.4	Анализа ризика имплементације.....	182
8.5	Анализа стратешких доприноса имплементације PLM-а	185
8.6	Анализа утицаја имплементације PLM-а на организационе способности развоја нових производа	191
8.7	Извођење ранга приоритета PLM функционалних подручја засновано на модификованом IT2FMULTIMOORA процесу	200
9	ПРЕДЛОГ МОДЕЛА ОДЛУЧИВАЊА ЗА ИЗБОР PLM СОФТВЕРСКОГ РЕШЕЊА	205
9.1	Систем критеријума евалуације PLM софтверских решења	207
9.2	Интегрални модел вишекритеријумског одлучивања за избор PLM софтверског решења	208
9.2.1	Фази Delphi модел.....	211
9.2.2	Фази АНР модел.....	213
9.2.3	Концепт PROMETHEE методе	215
9.3	Валидација модела одлучивања за избор PLM софтверског решења	219
10	ЗАКЉУЧАК.....232	
11	ЛИТЕРАТУРА.....236	
	ПРИЛОГ.....258	

ЛИСТА СЛИКА

Слика 1. Структура процеса животног циклуса производа	11
Слика 2. Животни циклус производа – концепт затворене информационе петље	12
Слика 3. Структура животног циклуса производа прерађивачке индустрије	12
Слика 4. Концептуални оквир PLM-а	13
Слика 5. Хронологија настанка и развоја PLM-а	18
Слика 6. Концептуална и технолошка еволуција PLM-а	19
Слика 7. Непосредне новчане користи од увођења PLM-а кроз акумулацију уштеда	22
Слика 8. Улога PLM система кроз фазе животног циклуса производа	24
Слика 9. Концептуални оквир PLM система	25
Слика 10. Пословни домени обухваћени PLM-ом	26
Слика 11. Архитектура PLM система	28
Слика 12. Тродимензионални координатни модел PLM-а: BOM оријентисани приступ	29
Слика 13. Теоријски модел следљивости информација кроз животни циклус производа	29
Слика 14. Концепт интеграције PLM, ERP и MES система	30
Слика 15. Могућности савремених PLM система за моделирање и симулацију свих аспеката производа	31
Слика 16. Дигитална нит кроз животни циклус производа	32
Слика 17. Генеричка структура процеса имплементације PLM-а: систематизација резултата истраживања	36
Слика 18. Фактори успеха у имплементацији PLM-а	36
Слика 19. Процесно оријентисани оквир имплементације PLM-а	46
Слика 20. Процесно оријентисани приступ имплементацији PLM-а прилагођен специфичностима текстилне индустрије	47
Слика 21. Приступ имплементацији PLM решења у функцији подршке процесима увођења нових производа	47
Слика 22. Оквир имплементације PLM-а заснован на анализи потреба корисника	48
Слика 23. Модел имплементације PLM-а заснован на <i>Boehm</i> -овом спиралном циклусу	48
Слика 24. Процес имплементације PLM система	49
Слика 25. Концептуални оквир имплементације са општим градивним блоковима PLM-а	50
Слика 26. Структура узорка анкетног истраживања	55
Слика 27. Структура иновација производа према степену иновативности	56
Слика 28. Истраживачко развојне активности предузећа	56
Слика 29. Баријере у иновативном деловању предузећа	57
Слика 30. Стратегије развоја нових производа	58
Слика 31. Изазови у развоју нових производа	59
Слика 32. Заступљеност PLM приступа у предузећима српске прерађивачке индустрије	59
Слика 33. Баријере у усвајању PLM приступа	60
Слика 34. Класификација метода вишекритеријумског одлучивања према проблему одлучивања	65
Слика 35. Класификација метода вишекритеријумског одлучивања према моделу одлучивања	66
Слика 36. Функција припадности TFN броја	73
Слика 37. Функција припадности IT2TrF броја	75
Слика 38. Функција припадности за IT2TrF лингвистичку скалу	79
Слика 39. Фазе QFD анализе	86
Слика 40. IT2FQFD анализа	91
Слика 41. DSDM генерички процес	96
Слика 42. Предлог генеричког процеса имплементације PLM-а	98

Слика 43. Интегрални вишекритеријумски модел оптимизације процеса имплементације PLM-а	119
Слика 44. Матрица стратегије процене трошкова у имплементацији пословних информационих система	124
Слика 45. Развој оквира за анализу сложености пројеката имплементације PLM-а	129
Слика 46. Оквир сложености пројеката имплементације PLM-а	132
Слика 47. Фактори ризика својствени пројектима имплементације PLM-а	139
Слика 48. BSC засновани аспекти евалуације стратешких доприноса пројеката имплементације PLM-а	147
Слика 49. Класификација постојећих приступа евалуацији процеса развоја нових производа	153
Слика 50. Структура модела евалуације процеса развоја нових производа	157
Слика 51. Анализа утицаја PLM-а на организационе способности развоја производа	157
Слика 52. Модел евалуације процеса развоја нових производа	162
Слика 53. PLM функционални модел	164
Слика 54. Резултати евалуације процеса развоја нових производа применом предложеног нормативно-контингентног модела	192
Слика 55. Интегрални модел вишекритеријумског одлучивања за избор PLM решења	210
Слика 56. Функција припадности за TFN лингвистичку скалу	214
Слика 57. Пресек између $\mu S1$ и $\mu S2$	215
Слика 58. PROMETHEE outranking токови за парцијално рангирање алтернатива	218
Слика 59. Хијерархијска структура одлучивања за проблем избора PLM софтверског решења	224
Слика 60. Резултантни граф за проблем избора PLM софтверског решења изведен према методи PROMETHEE I	229
Слика 61. Резултантни граф за проблем избора PLM решења по методи PROMETHEE II	230
Слика 62. GAIA Plane за проблем избора PLM софтверског решења	230
Слика 63. Иновативне активности развоја нових производа	263
Слика 64. Структура модификованих производа према природи модификација	263
Слика 65. Заступљеност нових производа у структури производног програма	263
Слика 66. Разлози неуспеха нових производа	263
Слика 67. Подстицаји за иновативно деловање предузећа	264
Слика 68. Начини на које предузећа оснажују свој иновациони потенцијал	264
Слика 69. Формализованост процеса развоја нових производа	264
Слика 70. Крос-функционална перспектива процеса развоја нових производа	264
Слика 71. Приоритети активности у процесу развоја нових производа	265
Слика 72. Формализованост процедура за генерисање и оцену идеја и системи подршке	265
Слика 73. Циљеви којима се предузећа воде при конципирању нових производа	265
Слика 74. Формализованост процедура за управљање производима	265
Слика 75. Употреба софтверских решења за различите аспекте PLM-а	265

ЛИСТА ТАБЕЛА

Табела 1. Систематизација постојећих тумачења PLM-а	16
Табела 2. Ефекти имплементације PLM-а.....	21
Табела 3. Преглед модела PLM зрелости.....	42
Табела 4. Упоредна анализа постојећих методолошких приступа имплементацији PLM-а.....	53
Табела 5. Преглед метода вишекритеријумског одлучивања	63
Табела 6. Фази АНР модели коришћени у литератури.....	77
Табела 7. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви коришћени у АНР процесу.....	79
Табела 8. Преглед MULTIMOORA базираних интегралних модела.....	82
Табела 9. Преглед методолошких унапређења конвенционалног QFD приступа	90
Табела 10. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви у QFD процесу	91
Табела 11. TCO модел трошкова имплементације PLM-а.....	123
Табела 12. Преглед доступних приступа проучавању сложености	127
Табела 13. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви коришћени у <i>Delphi</i> процесу.....	130
Табела 14. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви за оцену сложености пројекта	133
Табела 15. Преглед доступних приступа проучавању ризика у ИТ/ИС пројектима	136
Табела 16. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви за процену утицаја ризика	140
Табела 17. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF за процену вероватноће настанак ризика	140
Табела 18. Преглед BSC заснованих хибридних модела.....	143
Табела 19. Постојеће категоризације димензија најбоље праксе у развоју нових производа	151
Табела 20. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви за евалуацију процеса развија нових производа	158
Табела 21. Вредност случајног индекса конзистентности (<i>RI</i>)	175
Табела 22. Агрегирана матрица преференцијалних односа аспеката анализе PLM функционалних подручја.....	176
Табела 23. Резултати приоритизације аспеката анализе PLM функционалних подручја применом IT2FАНР методе	176
Табела 24. IT2TrF скала за процену трошкова	177
Табела 25. Процене трошкова имплементације	178
Табела 26. Анализа сложености пројеката имплементације	180
Табела 27. Резултати анализе сложености имплементације	181
Табела 28. Мере озбиљности ризика на нивоу појединачних фактора	183
Табела 29. Резултати анализе ризика имплементације	184
Табела 30. Резултати приоритизације BSC перспектива применом IT2FАНР методе	187
Табела 31. Резултати приоритизације BSC заснованих аспеката евалуације: финансијска перспектива.....	187
Табела 32. Резултати приоритизације BSC заснованих аспеката анализе: перспектива интерних процеса	187
Табела 33. Резултати приоритизације BSC заснованих аспеката евалуације: перспектива купаца	188
Табела 34. Резултати приоритизације BSC заснованих аспеката евалуације: перспектива учења и развоја	188
Табела 35. Релативни приоритети BSC заснованих аспеката евалуације	189
Табела 36. Резултати QFD анализе: стратешки доприноси PLM функционалних подручја.....	190
Табела 37. Резултати приоритизације циљева у процесу развоја нових производа применом IT2FАНР методе	198
Табела 38. QFD анализа: одређивање релевантности референтних пракси	198

Табела 39. Резултати QFD анализе: утицај PLM функционалних подручја на оптимизацију организационих способности за развој нових производа.....	199
Табела 40. Вишекритеријумска матрица одлучивања	203
Табела 41. Нормализована матрица одлучивања	203
Табела 42. Одстојање алтернатива од MORP вектора	204
Табела 43. Резултати субординираног и коначног рангирања алтернатива према MULTIMOORA процесу.....	204
Табела 44. Систем критеријума евалуације PLM софтверских решења	207
Табела 45. Фази скала оцене компетентности учесника <i>Delphi</i> панела	212
Табела 46. Лингвистичке варијабле и одговарајући TFN бројеви у фази <i>Delphi</i> процесу	212
Табела 47. Лингвистичке варијабле и одговарајући TFN бројеви у FAHP процесу	213
Табела 48. Матрица одлучивања за PROMETHEE методу	216
Табела 49. PROMETHEE преференцијске функције	217
Табела 50. Оцена компетентности учесника <i>Delphi</i> панела	220
Табела 51. Резултати <i>Delphi</i> студије – формирање базе критеријума одлучивања	223
Табела 52. Матрица одлучивања за проблем избора PLM софтверских решења	225
Табела 53. Фази агрегирана матрица преференцијалних односа.....	226
Табела 54. Фази синтетичка вредност опсега разматраних критеријума S	226
Табела 55. Матрица вероватноће $S \geq S_1, S_2, \dots, S_n$	227
Табела 56. Релативне тежине критеријума (w_i).....	227
Табела 57. Тип преференцијске функције критеријума, припадајући параметри и тежине	228
Табела 58. Вредности излазног, улазног и нето тока и потпуни поредак алтернатива	230
Табела 59. Атрибути сложености својствени пројектима имплементације PLM-а: резултати <i>Delphi</i> студије.....	266
Табела 60. Фактори ризика својствени пројектима имплементације PLM-а: резултати <i>Delphi</i> студије.....	268
Табела 61. QFD матрица релација: утицај PLM функционалних подручја на остваривање потенцијалних користи	270
Табела 62. QFD матрица релација: утицај PLM функционалних подручја на имплементацију референтних пракси у развоју нових производа	272

ЛИСТА ИНДЕКСА

AHP	Analytic Hierarchy Process
AI	Artificial Intelligence
ALM	Application Lifecycle Management
ANFIS	Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
ANP	Analytic Network Process
APM	Asset Preference Management
AR/VR	Augment and Virtual Reality
ARAS	Additive Ratio ASsessment
ATO	Assemble To Order
BC	Borda Count
BEACON	BEenchmarking and readiness Assessment for CONcurrent engineering in construction
BNP	Best Nonfuzzy Performance
BOL	Beginning of Life
BOM	Bill of Materials
BOP	Bill of Processes
BPM	Business Process Management
BPMN	Business Process Model and Notation
BSC	Balanced Scorecard
BWM	Best-Worst Method
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CAPEX	CAPital EXpenditure
CASE	Computer-Aided Software Engineering
CAT	Complexity Assessment Tool
CAX	Computer-Aided technologies
CCSD	Correlation Coefficient and Standard Deviation
CDCM	Complexity Design Structure Matrix
CEPC	Complexity and Emergent Property Congruence
CI	Consistency Index
CIFTER	Crawford–Ishikura Factor Table for Evaluating Roles
CL	Complexity Level
Claud PLM	Cloud-based Product Lifecycle Management
CMM	Capability Maturity Model
CMMI	Capability Maturity Model Integration
CMMS	Computerized Maintenance Management Systems
CNC	Computer Numerical Control
COA	Center of Area
COCOMO	COnstructive COst Model
CoCoSo	COmbined COmpromise SOlution
COPRAS	COmplex PROportional ASsessment
COTS	Commercial Off-the-shelf Software
cPDm	collaborative Product Definition management
CR	Consistency Ratio
CRITIC	CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation
CRP	Consensus Reaching Process
CTO	Configure To Order

CVPFRS	Covering-based Variable Precision Fuzzy Rough Set
CM	Configuration Management
DEA	Data Envelopment Analysis
DEMATEL	DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory
DFA	Design for Assembly
DFE	Design for Environment
DFM	Design for Manufacturing
DFX	Design for Excellence
DHHLTS	Double Hierarchy Hesitant Linguistic Term Sets
DSDM	Dynamic System Development Method
DSS	Decision Support System
EAM	Enterprise Asset Management
eBOM	engineering Bill of Materials
ECAD	Electronic Computer-Aided Design
ECO	Engineering Change Order
ECR	Engineering Change Requirement
EDAS	Evaluation Based on Distance from Average Solution
EDM	Engineering Document Management
ELECTRE	ELimination Et Choice Translating REality
EOL	End of Life
ER	Evidential Reasoning
ERP	Enterprise Resource Planning
ETO	Engineer To Order
FCM	Fuzzy Cognitive Maps
FLRAM	Fuzzy Logic Risk Analysis Model
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FMF	Full Multiplicative Form
FPA	Function Point Analysis
FPN	Fuzzy Petri Net
FRIR	Fuzzy Risk Impact Rating
FRSIs	Fuzzy Risk Severity Indices
FWA-ELECTRE	Fuzzy Weighted Average ELECTRE
GAIA Plane	Geometrical Analysis for Interactive Aid Plane
GITFNOWGA	Generalized Interval-valued Trapezoidal Fuzzy Numbers Ordered Weighted Geometric Average
GP	Goal Programming
GRI	Global Reporting Initiative:
HEBIN	Heuristic Evaluation Based on Interval Numbers
HF2TLS	Hesitant Fuzzy 2-Tuple Linguistic Sets
HFLTTS	Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set
HoP	House of Portfolio
HoQ	House of Quality
H-SWARA	Hierarchical Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis
IARCWA	Interval Asymmetric Rough Cloud Weighted Average
IEW-FCEM	Information Entropy Weight–Fuzzy Comprehensive Evaluation Model
IF-DEMATEL	Interval Fuzzy DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory
IHF	Intuitionistic Hesitant Fuzzy
IIoT	Industrial Internet of Things

IoS	Internet of Service
IoT	Internet of Things
IPD-CMM	Integrated Product Development Capability Maturity Model
IPMA	International Project Management Association
ISM	Independent Scoring Method
ИТ	Информационе технологије
ИТ/ИС	Информационе технологије/Информациони системи
IT2F	Interval Type-2 Fuzzy
IT2TrF	Interval Type-2 Trapezoidal Fuzzy
IT-BSC	Information Technology-based Balanced Scorecard
IVHFLS	Interval-Valued Hesitant Fuzzy Linguistic Set
IVIF	Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy
IVNS	Interval-Valued Neutrosophic Sets
IVPF	Interval-Valued Pythagorean Fuzzy
IVSF	Interval-Valued Spherical Fuzzy
IVTFN	Interval-Valued Trapezoidal Fuzzy Numbers:
КОППСИО	Комплексна Оптимизација Пословно-Производног Система у Интеракцији са Окружењем
LCA	Lifecycle Analysis engineering and Assessment
LCTS	Low-Carbon Tourism Strategies
LD	Least Deviation
LINMAP	LINEar programming techniques for Multidimensional Analysis of Preference
LLS	Logarithmic Least Square
LP	Linear Programming
LPAEM	Linear Programming Approximation to the Eigenvector Method
LPF	Linguistic Pythagorean Fuzzy
LS	Least Squares
LSE	Large Scale Engineering
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MAPPAC	Multicriterion Analysis of Preferences of Pairwise Alternatives and Criterion
MARCOS	Measurement of Alternatives and Ranking according to COMpromise Solution
MAUT	Multi-Attribute Utility Theory
MBD	Model-Based Design
MBe	Model-Based engineering
MBE	Model-Based Enterprise
mBOM	Manufacturing Bill of Materials
MBSE	Model Based Systems Engineering
MCAD	Mechanical Computer-Aided Design
MCDM	Multi-Criteria Decision-Making
MEREC	METHOD based on the Removal Effects of Criteria
MES	Manufacturing Execution System
MODM	Multi-Objective Decision-Making
MOL	Middle of Life
MOLP	Multi-Objective Linear Programming
MOORA	Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis
MOPSO	Multi-Objective Particle Swarm Optimization
MORCOS	Measurement Of alternatives and Ranking according to COMpromise Solution
MORP	Maximal Objective Reference Point

MPAGA	Multi-Population Adaptive Genetic Algorithm
MPI	Malmquist Productivity Index
MRO	Maintenance Repair Overhaul
MULTIMOORA	MULTIpllicative form of Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis
MADM	Multi-Attribute Decision-Making
NAIADE	Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments
NC	Numerical Control
NGT	Nominal Group Technique
NPD	New Product Development
NPI	New Product Introduction self-assessment
NSGA-I	Non Dominated Sorting Genetic Algorithm
OEM	Original Equipment Manufacturer
OPEX	OPerating Expenditure
ORESTE	Organisation, rangement et Synthèse de données relationnelles
PACE	Practical Approach to CE
PCAM	Project Complexity Assessment and Management
PDM	Product Data Management
PFS	Pythagorean Fuzzy Sets
PIM	Product Innovation Management
PLM	Product Lifecycle Management
PLS-SEM	Partial Least Squares Structural Equation
PLTS	Probabilistic Linguistic Term Set
PMBOK	Project Management Book of Knowledge
POC	Proof of Concept
ППИС	Пословно-производни систем
PRINCE	PRojects IN Controlled Environments
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
PSO	Particle Swarm Optimization
PT ³	Third generation prospect theory
QFD	Quality Function Deployment
QMS	Quality Management System
QP	Quadratic Programing
Q-ROF	Q-Rung Orthopair Fuzzy
Q-ROFEWA	Q-Rung Orthopair Fuzzy Einstein Weighted Averaging
QuEF	Quality Evaluation Framework
RAD	Rapid Application Development
RAT	Risk Assessment Table
RI	Random consistency Index
RPA	Reference Point Approach
RS	Ratio System
S&A	Simulation and Analysis
SaaS	Software as a Service
SAW	Simple Additive Weighting
sBOM	service Bill of Materials
SBSC	Sustainability Balanced Scorecard
Score-HeDLiSF	Score - Hesitant Degrees and Linguistic Scale Functions
SECM	Simultaneous Engineering Capability Model
SEGAPAN	Simultaneous Engineering GAP ANalysis

SEM	Structural Equation Modelling
SEMSS	Satellite Emergency Mission Scheduling Scheme
SLM	Service Lifecycle Management
SMAA	Stochastic Multi-criteria Acceptability Analysis
SMART	Simple Multi-Attribute Rated Technique
SOA	Service-Oriented Architecture
SVNN	Single-Valued Neutrosophic Numbers
SVNS	Single-Valued Neutrosophic Set
SWARA	Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis
SW-CMM	Capability Maturity Model for SoftWare
SysLM	System Lifecycle Management
TCO	Total Cost of Ownership
TFN	Triangular fuzzy numbers
TIFOS	TechnoWare, InfoWare, FunctionWare, OrgaWare и SustainWare
TODIM	TOmada de Decisão Interativa e Multicritério
TOE	Technical, Organizational and Environmental
TOPSIS	Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution
TPOP	Technique of Precise Order Preference
TrFN	Trapezoidal Fuzzy Numbers
TSLP	Two-Stage Logarithmic Programming
VAR	Valued-Added Reseller
ВИКОР	ВИшкритеријумско КОмпромисно Рангирње
VDA	Verband Der Utomobilindustrie
WASPAS	Weighted Aggregated Sum Product Assessment
WBS	Work-Breakdown Structure
WLS	Weighted Least Square
WPHPP	Wind Power Hydrogen Production Projects
3PLs	Third-Party Logistics

1 УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Процеси глобализације и рапидан технолошки напредак последњих деценија из корена мењају пословне околности, доносећи са собом раст сложености и све краћи животни циклус производа, сложеније ланце снабдевања, уз рефокусирање са конкурентских стратегија ослоњених на редуковање трошкова и стандардизацију процеса ка стратегијама брзог одговора на захтеве различитих интерних група који се континуирано мењају, што ствара околности у којима информације о производу добијају статус стратешког ресурса и кључног кохезивног елемента предузећа.

Као свеобухватни концепт управљања животним циклусом производа, заснован на интегрисању информација о производу од његовог концептуалног дефинисања до одлагања, *Product Lifecycle Management* (PLM) синхронизује све процесе и активности у вези са производом стварајући синергијске тоталитете. PLM је заправо пружио парадигму на основу које је у поменутих околностима било могуће успоставити одрживи раст пословних перформанси. Временом, он превазилази оквире пословног приступа са израженом ИТ перспективом, прерастајући у системски приступ за унапређење пословних перформанси предузећа, његово успостављање данас постаје део ширих иницијатива за трансформацију пословања у циљу постизања дугорочног развоја и одрживог раста предузећа. Штавише, PLM данас има улогу стратешког приступа оснаживању иновационих потенцијала пословно-производног система (ППС), због чега привлачи значајну пажњу, како академске заједнице, тако и индустрије имајући у виду да у условима рапидног технолошког развоја и глобалног умрежавања, какви су на снази, иновације постају критична варијабла одрживе конкурентности предузећа, али и кључни покретач и фактор развоја националних економија. Ово питање постаје нарочито актуелно у условима српске привреде, имајући у виду да развој Србије у правцу глобално конкурентне индустрије захтева стратешки приступ оснаживању националног иновационог система, који се пре свега ослања на поспешивање иновативности малих и средњих предузећа прерађивачке индустрије, као кључних носилаца овог система [333].

Међутим, и поред јачања PLM иницијативе у многим индустријама, вођеног значајним стратешким и оперативним побољшањима које доноси, предузећа се и даље суочавају са проблемом отежаног усвајања и сазревања у његовој примени. Упркос значајним инвестицијама у PLM технологије, њихова пословна вредност у многим предузећима остаје дискутабилна. Према студији [131] у 45% случајева су постојали проблеми у примени или чак потпуно одбацивање имплементираних PLM решења, такође истраживања [129, 247] извештавају о ниском степену успеха пројеката имплементације PLM-а, чак испод 50%. Док *Singh* и др. [381] наглашавају, да иако је све више потпуно реализованих PLM иницијатива, мало је доказа о успешној примени PLM технологија, док 70% њих не испуњава очекивања.

Треба имати у виду да се имплементација PLM-а не реализује искључиво кроз увођење технологија, већ укључује и опсежне пословне промене и усвајање нове парадигме управљања, што је чини сложеним процесом који мобилише значајне организационе ресурсе, укључује више иницијатива за радикалне промене пословних процеса, организационих система и механизма, чему треба додати и дуге временске оквире и непредвидиву природу ових процеса. Потребне за опсежним променама у пословању у комбинацији са усвајањем сложених технологија и проблемима њихове интеграције у пословне процесе и постојећу ИТ инфраструктуру предузећа, чине увођење PLM приступа опсежним и изазовним подухватом, захтевајући да се његова имплементација изводи као структуриран процес, подржан одговарајућом методологијом. Међутим и поред значајног интересовања академске заједнице и стручних асоцијација, истраживања у овој области још

увек нису резултирала доминантним приступом или методологијом која би на оптималан начин подржала процес имплементације PLM-а.

Имајући у виду сложену и непредвидиву природу ових процеса, али и снажне организационе, технолошке и бихевиоралне импликације PLM-а, од посебне важности постаје питање стратегије имплементације. Упркос тенденцији да се имплементација PLM-а стави у одређене концептуалне оквире, стратегија имплементације се не може посматрати као генеричка категорија, већ зависи од пословних околности, расположивих ресурса, специфичности окружења ППС-а итд. Имајући у виду да PLM мора одражавати специфичне пословне потребе и контекстуалне околности ППС-а, узимајући у обзир и природу информационих структура и токова, варијације у самом оперативном моделу имплементације су неминовне. С тим у вези, свако предузеће тежи прилагођавању референтних процеса имплементације у циљу успостављања модела који на експлицитан начин одражава специфичне пословне приоритете ППС-а.

Међутим, већина до сада успостављених приступа није у стању да одговори на потребе организационих система за одговарајућом подршком при дефинисању оптималног модела процеса имплементације, разматрајући ово питање у контексту специфичном за предузеће. Алати који су у употреби нису довољно интуитивни за крајње кориснике, доводи се у питање и њихова свеобухватност будући да узимају у обзир само изоловане аспекте овог проблема. Такође, литература не упућује на референтни приступ или методологију, који би предузећима помогли да мапирају латентне потребе и процене њихове приоритете у различитим пословним околностима, узимајући у обзир растућу потребу индустрије за усмеравањем PLM стратегије ка оснаживању иновационих потенцијала ППС-а. При чему постојећи приступи не предвиђају јасне механизме за подстицање критичких разматрања тренутног стања система као основе за мапирање потреба ППС-а. Такође, актуелна литература не пружа јасан теоријски модел, који даје конзистентну дефиницију PLM функционалног домена у складу са тренутним статусом његове концептуалне и технолошке еволуције, због чега PLM иницијативе најчешће досежу само изоловане аспекте имплементације, без неопходног холистичког приступа.

Изазови са којима се предузећа у пракси суочавају у настојању да имплементирају PLM се односе и на проблеме недовољне функционалне зрелости комерцијално доступних PLM решења, слабе интероперабилности, некомпатибилних модела података и интерфејса у односу на наслеђене системе, док имплементирана решења често не одражавају у потпуности захтеве пословања или нису компатибилна са релевантним технолошким и индустријским стандардима. Иако ова решења имају кључну улогу у успостављању интегрисаног PLM окружења, интеграцији изолованих информационих силоса и фрагмената аутоматизације, питање њиховог избора још увек није подржано одговарајућом методологијом. Литература остаје недоречена по питању методологије и структурираних приступа одлучивању, док се приступи коришћени у пракси ослањају искључиво на технолошке и финансијске аспекте не узимајући у обзир организациони и бихевиорални утицај ових решења, као ни у којој мери су комерцијално доступна решења у стању да подрже PLM стратегију у околностима специфичним за предузеће.

1.1 Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације се односи на успостављање оптималног процеса имплементације PLM-а сагласно специфичним потребама пословно-производног система. Настојећи да превазиђе недостатке или недовољно разрађене аспекте постојећих методологија, приступ предложен у овом истраживању укључује или допуњује претходно установљене иницијативе. Као свој кључни допринос у односу на претходно успостављене, оквир дефинише методолошки приступ оптимизацији процеса имплементације PLM-а,

заснован на вишекритеријумској анализи приоритета специфичних области развоја PLM компетенција, узимајући у обзир подизање потреба индустрије за усмеравањем PLM стратегије у правцу развоја иновационих потенцијала предузећа.

Циљ истраживања је развој новог методолошког оквира за подршку имплементацији PLM приступа, заснованог на процесно оријентисаној парадигми и принципима инкременталног и итеративног развоја, који у односу на претходно установљене иницијативе уводи одређена методолошка унапређења.

Иницијални део истраживања обухвата анкетно испитивање, спроведено на корпусу малих и средњих предузећа српске прерађивачке индустрије, које за циљ има да укаже на значај и актуелност проблема који се истражује у условима српске привреде. Предмет овог дела истраживања обухвата анализу иновационог профила предузећа српске прерађивачке индустрије и процену степена заступљености и перспективе PLM приступа у Србији.

Истраживање потом укључује развој теоријског модела који дефинише функционални опсег PLM-а систематизујући кључна подручја развоја PLM компетенција.

Најзначајнији део истраживања се односи на развој методолошког приступа оптимизацији процеса имплементације PLM-а. Задатак овог дела истраживања се односи на успостављање контекста у оквиру ког предузећа могу разумети приоритете имплементационих напора у специфичним пословним околностима. С тим у вези, уводи се приступ *ex-ante* евалуације заснован на принципима вишекритеријумске анализе. Предложени приступ полази од конвенционалних концепата евалуације пословних информационих система, који овај проблем своде на предикцију трошкова и анализу исхода имплементације у контексту организационог учинка. При чему превазилази приступе ослобођене на мере економске продуктивности и оперативне ефикасности, следећи опште интенције да се улагање у овакве иницијативе оправда у контексту њиховог доприноса ширим организационим циљевима. Укључивањем фактора процеса који се везују за природу пројеката имплементације, као што су дивергентност елемената пројектног система, њихову стохастичку природу, те чињеницу да се ради о системима који континуирано еволуирају на начин који се не може у потпуности предвидети, приступ има за циљ да на ефикасан начин обухвати ефекте неизвесности и сложености инхерентне пројектима имплементације PLM-а.

Као посебан аспект анализе, уводи се предикција утицаја на оптимизацију организационих способности развоја нових производа, са општим циљем генерисања смерница за формулисање стратегије имплементације PLM-а, која на ефикасан начин подржава развој и дугорочну одрживост иновационих потенцијала ППС-а. Основу овог приступа чини успостављање механизма за подстицање критичког разматрања тренутног стања процеса развоја нових производа. У том контексту као посебан допринос дисертације предвиђа се развој новог нормативно-контингентног модела евалуације ових процеса, чији је циљ да пружи методологију способну да мапира латентне потребе ППС-а.

Као резултат овог дела истраживања предвиђа се развој интегралног вишекритеријумског модела оптимизације процеса имплементације PLM-а, који као своје парцијалне моделе интегрише аналитичке оквире чије се успостављање дисертацијом предвиђа, а чији је циљ успостављање структуриране, научно засноване методологије за извођење различитих аспеката анализе сагласно предложеном приступу *ex-ante* евалуације.

Како би одговорио на неструктурирану природу проблема, сложене атрибуте објеката евалуације са значајним разликама у преференцијама у зависности од критеријума евалуације, модел интегрише методе вишекритеријумског одлучивања и *Quality Function Deployment* (QFD) методу. При чему се уводи претпоставка да се променљиве које егзистирају у моделу не могу егзактно исказати, нити прецизно предвидети на основу

објективних информација или директно и аналитички објаснити, већ се заснивају на процени представника персонализованих знања, специфичних за одређени аспект анализе. С тим у вези модел интегрише концепте који имају за циљ да обезбеде исказивање преференција на начин прилагођен људском когнитивном процесу и ефикасније моделовање инхерентних неодређености, усвајајући математичке modele развијене у *Interval Type-2 Fuzzy (IT2F)* окружењу.

Истраживањем је такође обухваћен развој методологије за избор софтверског решења, које ће на оптималан начин подржати успостављање кохерентног PLM окружења у околностима специфичним за предузеће, превазилазећи конвенционално разматране технолошке и финансијске аспекте. При чему се избор PLM софтверског решења дефинише као дискретни проблем вишекритеријумског одлучивања, за чије потребе се предвиђа развој интегралног модела вишекритеријумске анализе у фази окружењу.

1.2 Хипотезе од којих се у истраживању полази

Основне хипотезе од којих се у истраживању обухваћеном дисертацијом полази су:

- X.1 Могуће је развити оптималан модел процеса имплементације PLM концепта, сагласно специфичним потребама ППС-а, применом приступа вишекритеријумске анализе и теорије фази скупова*
- X.2 Вишекритеријумска евалуација организационих способности за управљање иновационим процесима развоја производа пружа основу за идентификовање специфичних потреба ППС-а при имплементацији PLM концепта, сагласно оријентацији PLM стратегије ка развоју иновационих потенцијала предузећа*
- X.3 Успостављање методолошког приступа евалуацији и избору PLM софтверског решења доприноси успешној имплементацији PLM-а*

1.3 Методе истраживања

За потребе истраживања обухваћеног дисертацијом коришћене су следеће методе:

- Методе анализе и синтезе релевантних библиографских извора са елементима дедукције, дескрипције и квалификације;
- Методе *online* анкетирања за прикупљање емпиријских података из релевантних извора у вези са проблематиком обухваћеном иницијалним истраживањем;
- Методе индукције за извођење општих законитости за посматране појаве на основу ставова испитаника о тврдњама представљеним у анкетном упитнику;
- Методе систематизације и дескриптивне анализе стандарда најбоље праксе при формирању нормативно-контингентног модела евалуације процеса развоја производа;
- Методе индукције за уопштавање и класификовање резултата истраживања у циљу развоја аналитичких оквира коришћених за успостављање интегралног модела вишекритеријумске евалуације;
- Методе вишекритеријумског одлучивања (АНР, MULTIMOORA и PROMETHEE) за утврђивање тежинских фактора и испитивање значајности разлика између променљивих које егзистирају у разматраним проблемима вишекритеријумске анализе;
- QFD метода за откривање релација и моделовање утицаја између корелирајућих варијабли у разматраним проблемима вишекритеријумске анализе;

- *Delphi* метода за постизање конвергенције консензуса стручњака са неопходним разумевањем проблема истраживања за избор варијабли од интереса у развоју аналитичких оквира за потребе евалуација PLM функционалних подручја;
- Математички модели развијени у IT2F окружењу за моделовање недоследност и непрецизности у исказивању или интерпретацији преференција у разматраним проблемима вишекритеријумске анализе.

1.4 Оквирни садржај дисертације

1. **Уводна разматрања:** поглавље садржи приказ проблема истраживања обухваћеног дисертацијом, истиче значај и актуелност истраживања у области имплементације PLM-а. Представљен је предмет, домен и циљ истраживања, хипотезе од којих се у дисертацији полази и дат преглед метода коришћених током израде дисертације.
2. **Product Lifecycle Management - нова парадигма управљања производом:** поглавље садржи теоријске основе о PLM-у и преглед приступа његовој концептуализацији, појашњава технолошки контекст и пословну вредност овог концепта и пружа преглед концептуалне и технолошке еволуције PLM-а.
3. **Специфичности процеса имплементације PLM концепта:** поглавље систематизује постојеће научне резултате, знања и искустава у домену имплементације PLM концепта. Пружајући свеобухватни структурирани преглед литературе о имплементацији PLM-а олакшава разумевање кључних аспеката имплементације PLM-а; разматра факторе успеха и карактеристичне приступе који омогућавају боље разумевање процеса имплементације; идентификује недостатке и недовољно разрађене аспекте постојећих приступа имплементацији и пружа полазну тачку за даља истраживања у овој области.
4. **Иницијално истраживање:** поглавље садржи анализу емпиријских података прикупљених кроз анкетно испитивање, укључујући показатеље иновационих перформанси и понашања предузећа обухваћених испитивањем и перспективе PLM приступа у Србији и њихову интерпретацију у складу са циљевима истраживања.
5. **Теоријска разматрања о концепту и методама вишекритеријумског одлучивања, теорији фази скупова и QFD анализи:** поглавље садржи теоријске основе о методама и концептима примењеним у овој дисертацији, разматра концепт у улогу вишекритеријумског одлучивања у теорији одлучивања, могућности примене теорије фази скупова у моделовању различитих извора неодређености у проблемима вишекритеријумског одлучивања, а затим представља методе вишекритеријумског одлучивања примењене у овој дисертацији и QFD анализу. Након концептуалног описа и прегледа библиографских извора у којима су методе коришћене, анализиран је домен примене и ограничења конвенционалних концепата и дат предлог методолошких модификација, потом су формулисани математички модели и алгоритми примене.
6. **Предлог оквира за имплементацију PLM концепта:** у оквиру поглавља се концептуално дефинише предложени приступ имплементацији PLM-а, разматрају општи аспекти управљања пројектима имплементације и пружа опис генеричког процеса имплементације, такође, ближе је представљен DSDM модел итеративног и инкременталног развоја, који се у контексту предложеног приступа усваја као подршка имплементацији PLM концепта.
7. **Развој оптималног модела процеса имплементације PLM концепта:** у оквиру поглавља се разматра проблем оптимизације процеса имплементације PLM-а. Поглавље најпре анализира проблем планирања имплементације PLM-а и евалуације

пословних информационих система, са прегледом литературе и критичким освртом на постојеће приступе. Затим је уведен теоријски модел PLM функционалног опсега и концептуално дефинисан вишекритеријумски приступ *ex-ante* евалуације PLM функционалних подручја. У наставку је представљен нови интегрални вишекритеријумски модел оптимизације процеса имплементације PLM-а, док су његови парцијални модели представљени кроз засебне целине у оквиру поглавља. Свака целина пружа теоријска тумачења концепата који ће бити коришћени у решавању разматраног проблема евалуације, објашњава усвојени истраживачки приступ развоју модела и даје приказ и појашњење дефинисане методологије.

- 8. Студија случаја:** поглавље приказује студију случаја реализовану на основу интегралног вишекритеријумског модела оптимизације процеса имплементације PLM-а развијеног у оквиру дисертације у циљу валидације предложеног приступа у реалном контексту. За реализацију студије случаја коришћени су емпиријски подаци који потичу из предузећа прерађивачке индустрије чија је претежна делатност регистрована у сектору производње електричних апарата за домаћинство.
- 9. Предлог модела одлучивања за избор PLM софтверског решења:** поглавље ближе одређује проблем избора PLM софтверских решења и пружа теоријска тумачења концепата који ће бити коришћени у решавању разматраног проблема одлучивања. Затим је ближе представљена предложена методологија одлучивања и математички модели метода коришћених у изградњи модела одлучивања. Док је у последњем делу поглавља приказана студија случаја реализована на основу дефинисаног модела одлучивања у циљу његове валидације у реалном контексту.
- 10. Закључак:** у оквиру последњег поглавља дата су закључна разматрања са освртом на постављене хипотезе, на крају поглавља је дат преглед теоријских и практичних импликација спроведеног истраживања, ограничења предложених методологија и дефинисани правци будућих истраживања.

2 PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT - НОВА ПАРАДИГМА УПРАВЉАЊА ПРОИЗВОДОМ

Процес глобализације и брз технолошки напредак последњих деценија „из корена мењају тржиште, иако са једне стране представљају подстицај, са друге делују као ограничавајући фактор развоја предузећа, захтевајући модификације у начину реаговања и решавања проблема.“¹ Пословне околности које доносе усмеравају напоре предузећа ка остваривању дугорочно одрживе конкурентности успостављањем компромиса између иновативности са једне и раста оперативне ефикасности и флексибилности и оптималне употребе ресурса, са друге стране, што је од предузећа захтевало да успоставе бољу контролу и управљање животним циклусом производа.

Истовремено, развија се ново схватање улоге производа у пословном контексту према коме он за предузеће више није само пуки артефакт који генерише приход, већ „генератор свих збивања у пословно-производним системима“² и „кључни ентитет који дефинише предузеће и генерише његову пословну вредност.“³

Радојичић и Весић Васовић [340] указују да се „на производу преламају различити спољашњи и унутрашњи утицаји, који рефлектују с једне стране задовољавање растућих потреба корисника по структури и количини, са друге стране могућности предузећа, узрокујући сложен процес, почевши од развоја преко производње до застаривања производа.“⁴ Према *Булату* [58], концепт традиционалних, ригидних организационих структура, са релативно изолованим организационим деловима противречи продужном, интерактивном карактеру процеса развоја производа и освајања његове производње укључујући и редовну производњу, узрокујући сувишно трошење разних облика рада и кашњења уз могуће пропусте у квалитету. Адекватан одговор *Булат* [58] види у повезивању и синхронизацији свих активности везаних за одређени производ, што је интерпретирао кроз свој КОПСИО (Комплексне Оптимизације Пословно-Производног Система у Интеракцији са Окружењем) модел, према коме су „све активности у оквиру предузећа у вези са одређеним производом повезане снопом директних и повратних информација, уз интеракцију свих актера у развоју, изради и употреби производа и континуираном унапређивању развијених решења на бази повратних информација.“⁵ Према *Весић Васовић* и др. [427] „повезивање и синхронизација ових активности је предуслов за реализацију крајњег циља – достићи потребан ниво квалитета уз оптималне трошкове.“

Јасно је да доследно управљање животним циклусом производа захтева синхронизацију и интегрисано управљање процесима развоја и реализације производа, све до његовог повлачења, што се пре свега заснива на способности управљања информацијама о производу. Ово подразумева изградњу и одржавање свеобухватне базе знања о производу, синхронизовање различитих извора информација, изградњу конзистентних информационих токова са повратним спрегама, транспарентност и следљивост информација о производу кроз читав животни циклус.

Међутим, недостаци у стандардима и технологијама за управљање информацијама нарушавају овакав концепт у пракси. Убрзани технолошки напредак резултира све сложенијим производима и процесима, условљавајући уједно и раст обима и сложености структуре и токова информација о производу, истовремено стандардни системи за обраду

¹ *Весић Васовић* и др. (2010)

² *Булат* (1999)

³ *Stark* (2015)

⁴ *Радојичић и Весић Васовић* (2010)

⁵ *Булат* (1999)

информација ППС-а не укључују перспективу читавог животног циклуса већ се фокусирају на његове изоловане аспекте, узрокујући изоловане информационе силосе и фрагментирано управљање информацијама. Овакве околности захтевају додатне напоре у интеграцији информација и успостављању следљивих веза, онемогућавају успостављање конзистентних токова, ограничавају њихову доступност, условљавајући чекање и рад са погрешним информацијама. Уз то различити формати у којима се чувају, уз проблеме слабе интероперабилности софтверских система ограничавају њихово тумачење и употребу изван примарних контекста.

Као технолошки концепт, PLM подржава интеграцију информација и сродног интелектуалног капитала о производу ослањајући се на стратегију интеграције софтверских решења из домена инжењеринга, управљања производњом и ланцима снабдевања, чини ове информације доступним у одговарајућем контексту, одржавајући њихову валидност, конзистентност и следљивост кроз читав животно циклус. Према *CIMdata* [86] PLM омогућава:

- „успостављање универзалног, сигурног и управљаног приступа и коришћења информација о дефиницији производа кроз читав животно циклус;
- одржавање интегритета дефиниције производа и сродних информација током целог животног циклуса;
- интегрисано управљање и одржавање пословних процеса који генеришу, управљају, шире, деле и/или користе информације о производима.“⁶

Временом PLM је евалуирао у свеобухватни концепт управљања пословањем, заснован на управљању пословним информацијама, који „дефинише производ као централни ентитет за генерисање информација, а животно циклус производа као нову временску димензију за њихову анализу и интеграцију.“⁷ Расправљајући о улози овог концепта у актуелним условима пословања *Stark* [392] говори о PLM-у као о „парадигми двадесетпрвог века за реализацију производа - новим начином гледања на производ“⁸, дефинишући појам парадигме као заједнички и општеприхваћени концепт који људима који се баве неком комплексном проблематиком пружа њену поједностављену слику и омогућава да на јединствен начин комуницирају о њој.

Циљ увођења PLM технологија није аутоматизација појединачних пословних функција и стварање додатних острва аутоматизације, већ интеграција пословних процеса, стварање синергије у ланцу вредности, координација напора различитих функционалних група и појединаца у развоју и реализацији производа и подршка њиховим мултидисциплинарним интеракцијама. У основи PLM приступа је оперативна интеграција активности у ланцу вредности производа, подржана интеграцијом информационих силоса и успостављањем конзистентних информационих токова, узимајући у обзир дисперзивну природу предузећа. Потребу за оваквим приступом *Oliveira* и др. [307] објашњавају проблемом ригидних организационих структура, које због релативне изолованости организационих делова и различитих функционалних група условљавају отежану синхронизацију њихових активности у вези са одређеним производом. „Један од основних задатака PLM-а је интеграција организације у синергијски тоталитет, који функционише флексибилно.“⁹ PLM заправо успоставља синергију између људи и система за обраду информација и омогућава синхронизацију различитих процеса кроз информације о производима, успостављајући интегрисано окружење за пројектовање и имплементацију производних капацитета, односно развој и увођење нових производа, развој производних процеса и окружења;

⁶ *CIMdata* (2005)

⁷ *Schuh* и др. (2008)

⁸ *Stark* (2015)

⁹ *Immonen* и *Saaksvuori* (2013)

управљање производњом; управљање услугама подршке током експлоатације; управљање одлагањем, рециклажом или ревитализацијом производа. На овај начин PLM омогућава брже доношење одлука, ствара окружење за колаборативни рад поспешујући оперативну ефикасност, поспешује поновну употребу раније развијених решења и откривеног знања скраћујући време решавања актуелних проблема, подржава ефективно комбиновање мултидисциплинарне експертизе стварајући потенцијал за развој квалитетнијих решења.

2.1 Актуелност PLM приступа у тренутним пословним околностима

PLM је настао и развијао се под утицајем значајно измењених услова пословања које са собом доносе интензиван процес глобализације и брз технолошки напредак, а чије су се последице манифестовале кроз раст сложености и све краћи животни циклус производа, променљиве преференције потрошача, тренд дистрибуираног кооперативног развоја производа и последично сложенијих ланаца снабдевања итд. „PLM је заправо пружио парадигму, на основу које је у условима актуелних пословних изазова било могуће пословање одржавати ефикасним.“¹⁰

Еволуција производа од самосталног ентитета до концепата који интегрише више компатибилних ентитета и који се не ограничава искључиво на опипљиво језгро односно физички производ, већ укључује и низ нематеријалних добара, попут пратећих услуга али и интеракције са окружењем, шири фокус у развоју производа са традиционалних питања функционалности и времена изласка на тржиште на питања утицаја на животну средину, система подршке, укупних трошкова животног циклуса итд. Захтевајући да се производи развијају узимајући у обзир перспективу читавог животног циклуса, што је изнедрило концепте попут инжењеринга животног циклуса (енг. *Lifecycle engineering*) и примену DFA (*Design for Assembly*), DFM (*Design for Manufacturing*) и других DFX принципа, чија је операционализација захтевала стварање механизма за координацију крос-функционалних интеракција и синхронизован рад инжењеринга производа, производње и сервисног инжењеринга. Са друге стране, животни циклус производа постаје све краћи, стварајући притисак на убрзавање иновационих процеса и краће време до изласка на тржиште, што је од предузећа захтевало да се фокусирају повећање укупне оперативне ефикасности ових процеса.

Прерађивачка индустрија се последњих деценија суочава са прогресивним растом сложености производа, иницијално везаним за прелазак са чисто механичких на мехатроничке системе који поред механичких интегришу и електронске и софтверске компоненте, при чему се данашњи производи могу окарактерисати као „свеобухватни систем система који удружују ресурсе и способности како би се добили нови, сложенији мета-системи са бољим функционалностима и перформансама.“¹¹ Ово захтева системску перспективу и управљање развојем производа у мултидисциплинарном контексту, укључујући перспективе и машинског, и електро, и софтверског инжењеринга, уз управљање њиховим логичким везама и крос-дисциплинарним интеракцијама.

Тренутни тржишни услови померају фокус предузећа са стратегија конкурентности традиционално ослоњених на стандардизацију процеса и оптимизацију трошкова на способност брзог одговора на захтеве тржишта који се перманентно мењају и постизање високог квалитета уз оптималну ефикасност, што је захтевало од предузећа прелазак на парадигму прилагодљиве производње, за шта је кључно било успоставити флексибилне производне системе и развити високо прилагодљиве производе. Ово између осталог доводи до популаризације тренда тзв. *масовног прилагођавања*, насупрот конвенционалног

¹⁰ Immonen и Saaksvuori (2013)

¹¹ Tata Technologies (2018)

концепта тзв. *производња за складиште*. У пракси се ово најчешће везује за примену стратегије конфигурабилних производа и модуларних структура што доводи до високе варијабилности производа и ствара додатну сложеност услед потребе за управљањем животним циклусима великог броја конфигурација и минимизирањем ризика од неусаглашености.

Флуктуације на тржишту, промене у технологијама, нестабилни ланци снабдевања, променљиви захтеви корисника итд., чине управљање променама суштинском компонентом животног циклуса производа, истовремено и једним од највећих инжењерских изазова, чему доприноси неколико фактора: време реаговања на захтеве за променама постаје један од основних елемената конкурентске способности предузећа; трошкови промена значајно расту са сваком наредном фазом животног циклуса; потреба за координацијом промена кроз више домена у глобално дистрибуираном ланцу вредности. Конкурентски притисци који долазе са глобалног тржишта и све већа сложеност производа условљавају ширење конвенционалног ланца вредности ван организационих граница кроз различите форме кооперације са намером да се обезбеди приступ додатним ресурсима и компетенцијама, условљавајући преношење области деловања које су изван језгра организационих компетенција на екстерне сараднике. Као резултат тога, активности у инжењерингу производа, производњи и сервисном инжењерингу се распоређују између партнера у пословним мрежама, стварајући нове изазове у синхронизацији сложених ланаца снабдевања, али и њихов све већи утицај на способност предузећа да одговори на захтеве за бржим изласком на тржиште, нижим трошковима и квалитетнијим производима.

Борба за већу додатну вредност, доводи до развоја нових пословних модела у оквиру којих постпродајне услуге сервисирања и одржавања производа постају значајан аспект пропозиције вредности. Произвођачи данас покушавају да услугама покрију читав животно циклус производа, тежећи ка мањој зависности од цикличних трендова продаје и ублажавању ефеката флуктуација у промету ослањајући се на токове прихода од постпродајних услуга.

Са друге стране, корисници у капитално интензивним индустријама од добављача очекују подршку у управљању животним циклусом капиталне имовине предузећа у циљу одржавања стабилности процеса, оптималне искоришћености производних капацитета итд. Због чега одржавање перформанси производа у његовој оперативној фази постаје важан аспект животног циклуса којим треба управљати.

Изазови које доносе нове пословне парадигме ослоњене на дигиталне технологије, еволуција производа у системе паметних повезаних производа итд., захтевају од предузећа да досегну много даље од дигитализације инжењерских процеса тежећи свеобухватној дигиталној трансформацији пословања. При чему кључну улогу у иницијативама за дигитализацију пословања игра успостављање конзистентних дигиталних нити кроз читав животно циклус производа, у чијој основи је дигитализација података о производу и њихова тзв. *end-to-end* интеграција, примена инжењерских приступа заснованих на моделима; интелигентно умрежавање инжењерских процеса итд.

2.2 Инжењерски оријентисана перспектива животног циклуса производа

Поред традиционалне концептуализације животног циклуса производа која прати његово кретање кроз перспективу тржишног дозревања идентификујући карактеристичне фазе увођења, раста, зрелости и опадања, развија се нова, инжењерски оријентисана перспектива која покушава да на експлицитан начин рефлектује стварни животно век производа. Како *Sao* и *Folan* [63] објашњавају, нове пословне околности приморавају предузећа на заједничко ангажовање на реализацији производа кроз различите облике

међуорганизацијског умрежавања, што за последицу има ширење ланца вредности изван конвенционалних граница организације али и еволуцију производа од традиционалне концепције до парадигме тзв. проширеног производа, док строга регулатива у домену заштите животне средине усмерава пажњу произвођача на посттржишну фазу повлачења и одлагања производа и поновну употребу ресурса. Све ово условљава доста еластичнију дефиницију појма производ оспоравајући традиционалну, тржишно оријентисану концепцију његовог животног циклуса, што за последицу има развој нових инжењерски оријентисаних модела, који пружају микро перспективу систематизујући активности у животном циклусу појединачне инстанце физичког производа.

У контексту овог тумачења, *Westkämper* и др. [441] мапирају базичне процесе у животном циклусу физичког производа као процесе инжењеринга, производње и монтаже, коришћења и подршке. Имајући у виду институционалне захтеве у погледу развоја и реализације еколошки прихватљивих производа и процеса, концепт проширују на активности одлагања и поновне употребе. Са друге стране *Rachuri* и др. [339] разликују животни циклус инстанце као физичког производа који се испоручује купцу, са фазама производње, употребе са одржавањем и рециклаже или одлагања и животног циклус објекта као виртуелног производа који обухвата фазу пројектовања, фазу индустријализације, тржишну фазу и фазу у оквиру које се производ модификује како би боље одговорио на захтеве купаца.



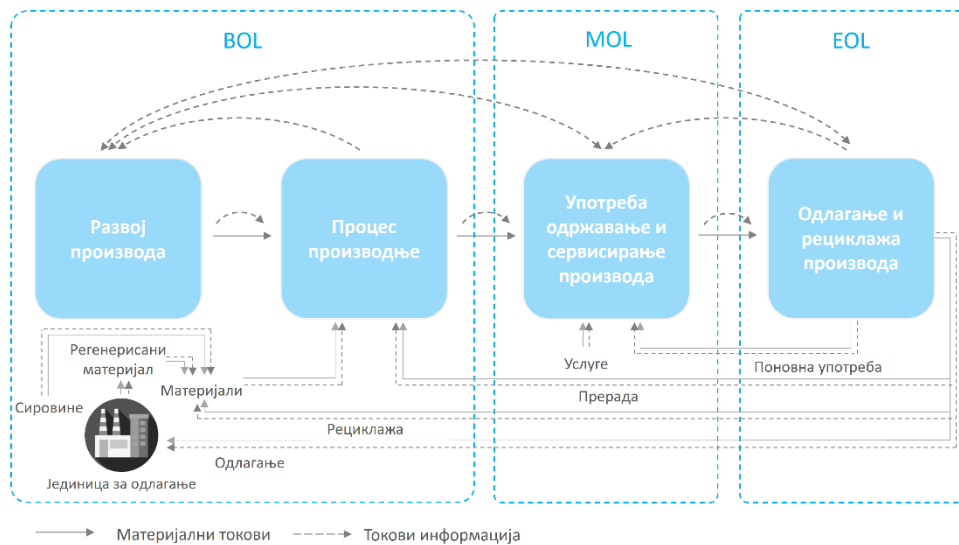
Слика 1. Структура процеса животног циклуса производа [193]

Слично овој концептуализацији, *Immonen* и *Saaksvuori* [193] конституишу референтну структуру процеса животног циклуса производа која обухвата два генеричка процеса: **процес производа** који рефлектује животни циклус производа на апстрактном нивоу и обухвата увођење новог производа на тржиште и процес одржавања производа који је већ на тржишту кроз цикличне процесе промена и **процес наруџбина-испорука** усмерен на физички производ.

Један од најсофистициранијих до сада развијених модела даје *Kiritsis* [231], којим концептуализује животни циклус производа кроз три генеричке фазе:

- **Почетак живота** (енг. *Beginning of Life – BOL*) – фаза у оквиру које се генерише и физички реализује концепт производа. Обухвата планирање и дизајн производа, производних процеса и окружења као скуп рекурзивних активности и производњу као процес који се заснива на трансакцијама.
- **Средина живота** (енг. *Middle of Life – MOL*) – представља оперативну фазу животног циклуса током које производ прелази организационе границе крећући се ка потрошачима, обухвата екстерну логистику, употребу производа са активностима постпродајне подршке одржавања и сервисирања.
- **Крај живота** (енг. *End of Life – EOL*) – обухвата процес обрнуте логистике и различите сценарије повлачења и ревитализације или рециклаже производа у циљу поновне

употребе ресурса. Наступа у тренутку када производ изгуби своју употребну или економску вредност.



Слика 2. Животни циклус производа – концепт затворене информационе петље [231]

Овако конципиран модел (слика 2) рефлектује концепт затворене информационе петље животног циклуса производа са конзистентним информационим токовима од BOL ка MOL и EOL процесима, укључујући и систематски прилив повратних информација.

У намери да се уведе јединствено разумевање животног циклуса производа прерађивачке индустрије за потребе истраживања обухваћеног овом дисертацијом, ослањајући се на његове постојеће концептуализације [15, 231, 339, 409], идентификован је модел животног циклуса производа из инжењерски оријентисане перспективе. На основу постојећих описа, модел систематизује генеричку структуру фаза и процеса (слика 3) у животном веку производа узимајући у обзир читав ланац вредности, од планирања и концептуалне дефиниције производа до повлачења кроз различите форме одлагања, ревитализације итд.



Слика 3. Структура животног циклуса производа прерађивачке индустрије

2.3 Постојећи приступи концептуализацији PLM-а

PLM је сложен феномен који се може тумачити у контексту стратешког пословног приступа или технолошког концепта. Заправо, PLM би се могао описати као концепт који обједињује стратешки приступ, напредна технолошка решења и одговарајуће пословне праксе, усмерене на оптимизацију и контролу животног циклуса производа, на бази интегрисаног приступа управљању информацијама и процесима повезаним са производом. Иако је као предмет разматрања већ релативно дуго заступљен у академској литератури, још увек не постоји јединствена перцепција онога што PLM заиста представља, због чега постоје прилично хетерогени приступи у његовом дефинисању и последично велики број концептуализација. Један од пионира у истраживању у овој области, *Stark* [391], дефинише PLM као „пословну активност управљања производима на најефикаснији могући начин током целокупног животног циклуса“¹² међутим овакво објашњење даје само уопштenu персонификацију онога што PLM заиста представља. То је вишеслојан и вишедимензионалан концепт, који се тумачи у контексту: пословне парадигме [392]; стратешког пословног приступа [86]; пословног модела подржаног информационим технологијама [193]; стратегије управљања животним циклусом производа [36]; холистичког приступа који користи широк спектар различитих концепата, технологија и алата [392]; технолошког решења за управљање интелектуалним капиталом повезаним са производом [339] итд.

Најчешће интерпретирано тумачење PLM-а се доминантно ослања на његов технолошки контекст, при чему се дефинише као „концепт за креирање, обраду, складиштење и проналажење података, информација и знања о производу, од његове концептуализације до одлагања, рециклаже или ревитализације.“¹³ Другим речима, „PLM је концепт за ИТ базирану организацију свих информација о производима и процесима њиховог развоја, комерцијализације и повлачења, на начин који омогућава да информације буду увек доступне у првом контексту и у прво време на свим релевантним тачкама у предузећу.“¹⁴ Овакав приступ концептуализацији PLM-а прихватају и многи други аутори, међутим праве јасну разлику, наглашавајући да PLM сам по себи, није технологија, већ технолошки заснован пословни приступ.



Слика 4. Концептуални оквир PLM-а [424]

Иако се ради о ИТ заснованом концепту, јасно је да се PLM не може посматрати искључиво кроз технолошки контекст. Како *Terzi* и др. [409] наводе његова шира импликација указује да поред ИТ решења, као своје основне елементе PLM комбинује процесе и методологије.

¹² *Stark* (2007)

¹³ *Lämmer* и *Theis* (2015)

¹⁴ *Arnold* и др. (2011)

Па иако технологије (ИТ алати, архитектуре, стандарди интероперабилности итд.) играју фундаменталну улогу у дигитализацији информација о производима, њиховом интегрисаном управљању „PLM није искључиво сет технологија за управљање информацијама, то је приступ у којем су процеси једнако важни или важнији од информација, имајући у виду да се информације генеришу у контексту процеса.“¹⁵ Дефинишући холистички PLM концептуални оквир *Venghaus* и *Stark* [424] проширују овај приступ на друге зависне концепте у контексту PLM-а, укључујући 1) организацију, 2) људе, 3) технологије, 4) процесе, 5) методе, 6) функционалности и 7) податке/информације/знање.

Garetti и др. [147] такође указују на знатно шири контекст PLM-а, наводећи да акроним PLM указује на сложен феномен, који се дефинише као приступ управљању пословним процесима, који обједињује различита и хетерогена питања као што су организација, организациона култура, економска питања, технике и алати. Разрађујући своју тезу о PLM-у као вишедимензионалном феномену, *Garetti* и др. [147] истичу да је при дефинисању и разумевању значења акронима PLM неопходно узети у обзир три кључне перспективе:

- „PLM се бави стратешком визијом предузећа, која подразумева да су сви процеси оријентисани на производе како би се ефикасно одговорило на захтеве тржишта;
- PLM приступ укључује и иновативна решења за креирање, управљање и одржавање свих информација које се деле у процесима предузећа;
- истовремено, овај свеобухватан приступ управљању дигиталним информацијама, који физички омогућава сарадњу међу људима, обезбеђен је еволуцијом ИТ алата и њихове интероперабилности.“¹⁶

Слично претходно интерпретираним тумачењима, *Ma* и *Fuh* [260] представљају PLM интегришући две карактеристичне перспективе, пословну према којој је то свеобухватни, системски и научни приступ управљању перформансама предузећа и технолошку: заснован на кохерентно и доследно интегрисаном информационом систему који ефикасно испуњава захтеве за информацијама о производима и са њима повезаним процесима. Овај и слични приступи концептуализацији, указују на специфичан контекст тумачења PLM-а као стратешког пословног приступа подржаног специфичним технолошким концептом.

У намери да обједини постојеће перспективе у тумачењу PLM-а, *CIMdata* [86] дефинише овај концепт као „стратешки пословни приступ који примењује конзистентан скуп пословних решења у подршци колаборативном креирању, управљању, дељењу и коришћењу информација о производима широм предузећа, интегрисањем људи, процеса, пословних система и информација.“¹⁷ Слични покушаји долазе и од академске заједнице, наиме пружајући шири контекст тумачења *Terzi* и др. [409] развијају теоријски модел за описивање PLM-а, при чему је фокус модела на три карактеристичне перспективе: 1) стратешки пословни приступ који тумачи производ у контексту кључног генератора пословних вредности предузећа; 2) колаборативни приступ за валоризацију компетенција распоређених између различитих актера у предузећу; 3) концепт омогућен ИТ решењима.

Према *Corallo* и др. [93] постојеће концептуализације PLM-а кроз дефиниције које дају индустријске институције и академске заједнице упућују на:

- управљачке карактеристике о пословном понашању и процесима;
- технолошке карактеристике о способностима PLM система;
- колаборативне карактеристике о односима и потреби за сарадњом у оквиру PLM процеса.

¹⁵ *CIMdata* (2019)

¹⁶ *Garetti* и др. (2007)

¹⁷ *CIMdata* (2005)

Међутим, како Corallo и др. [93] истичу, ове дефиниције не третирају све аспекте релевантне за описивања PLM концепта, ово се пре свега односи на поједине аспекте из технолошког домена, као што су карактеристике информација о производу, као и концепте следљивости и дугорочног архивирања. Узимајући у обзир све поменуте аспекте, како наводе, дају холистички опис PLM-а дефинишући га на следећи начин: „PLM је стратешки пословни приступ који подржава све фазе животног циклуса производа, од концепта до одлагања, обезбеђујући јединствен и временски ограничен извор информација о производу, интегрише људе, процесе и технологије, осигурава конзистентност информација, следљивост и дугорочно архивирање.“¹⁸

Бројни покушаји да се PLM објасни и формално дефинише, који су кроз протекле две деценије долазили од стране академске заједнице и индустрије PLM технологија, довели су до различитих интерпретација PLM-а, при чему и даље недостаје консензус шта је PLM заиста, пословна парадигма или технолошки концепт. Како би се боље разумео контекст овог феномена, успостављен је теоријски оквир који систематизује постојећа теоријска тумачења PLM-а. Наиме, табела 1 даје преглед формулација које произилазе из различитих дефиниција или ширих тумачења PLM-а идентификованих у академској литератури и другим стручним публикацијама, што представља покушај да се обједине сви релевантни аспекти за описивање PLM-а, пружајући софистициранији приступ у односу на његово поједностављено поимање искључиво као специфичног технолошког концепта или специјализованог софтверског пакета за управљање информацијама о производу.

Без обзира на значајне семантичке разлике, постојећа тумачења не укључују контрадикторности већ одражавају сложеност, вишедимензионалност и вишеслојност овог феномена. Ове разлике произилазе из перспективе и контекста тумачења, између осталог и континуиране технолошке и концептуалне еволуције PLM-а. Док су преклапања последица немогућности да се јасно диференцирају аспекти овог вишедимензионалног феномена.

Из доступних дефиниција произилази неколико општих одредница које ближе описују значење акронима PLM:

- PLM се тумачи као вишедимензионални концепт који обједињује две међусобно синергичне перспективе: *пословни приступ/стратегија управљања и технолошки концепт*;
- као кључни појмови у већини доступних формулација PLM-а могу се издвојити *информације о производима и сродни интелектуални капитал, процеси, људи и пословни информациони системи*, који се могу тумачити у контексту кључних ентитета интеграције обухваћених PLM-ом;
- као основни концепти у PLM-у препознају се концепти *интеграције и сарадње*;
- наглашен је стратешки фокус PLM-а на *стварање пословне вредности* и оптимизацију кључних перформанси пословања укључујући *време изласка на тржиште, трошкове и квалитет*;
- поред тога што упућују на основе овог концепта, пружају и неке додатне одреднице као што су временска димензија или опсег управљања, при чему се као временска димензија наглашава *животни циклус производа*, а као опсег управљања *проширени ланац вредности производа*.

Важан појам за разумевање овог концепта је PLM опсег, који се може тумачити као скуп међусобно синергичних компоненти које PLM интегрише у циљу изградње интегралног окружења за развој, производњу и одржавање производа, другим речима PLM окружења. Појам заправо дефинише опсег управљања PLM-а, као пословног концепта и технолошког

¹⁸ Corallo и др. (2013)

решења. Јасно је да је производ централни ентитет PLM окружења, док су информације о производу његов кључни кохезивни елемент, међутим, опсег питања којим се PLM бави је знатно шири, наиме, то је холистички концепт који повезује процесе, ИТ алате, људе, опрему и објекте. Поред тога, управљање наведеним компонентама PLM окружења Stark [392] види као „континуирани процес вођења, постављања циљева, доношења одлука, организовања ресурса и активности и праћења напретка“¹⁹. С тим у вези, под PLM опсегом он подводи и циљеве и метрике перформанси претходно поменутих компоненти, методе, и организацију ресурса, као неизоставна питања којима би се требало бавити у циљу оптималног управљања животним циклусом производа.

Табела 1. Систематизација постојећих тумачења PLM-а

Тумачења PLM-а	Студије
Пословни контекст	
Пословна парадигма	[392]
Стратешки пословни приступ	[86, 93, 148, 339]
Пословни приступ оријентисан на стварање пословне вредности	[148, 162]
ИТ заснован пословни модел	[138, 193]
Свеобухватна стратегија управљања животним циклусом производа	[36]
Системски приступ унапређењу пословних перформанси	[260, 388]
Приступ управљању и оптимизацији пословних процеса	[147]
Концепт управљања који интегрише људе, процесе, технологије и информације	[86, 93, 162]
Концепт који подржава сарадњу између људи и организација кроз све фазе животног циклуса производа	[339]
Концепт управљања који превазилази конвенционалне границе предузећа на читав међуорганизацијски ланац вредности	[339, 390]
Технолошки контекст	
Концепт за ИТ подржано управљање интелектуалним капиталом повезаним са производом на интегрисан, координисан и контролисан начин	[148, 162, 339, 390, 483]
Технолошко решење за подршку колаборативном креирању, складиштењу и управљању, приступу и дељењу информација о животном циклусу производа	[86, 240, 365]
ИТ заснован концепт који помаже у одржавању благовремености, доследности, валидности и следљивости информација о производу кроз читав животно циклус	[93]
Информациони систем који задовољава потребе за информацијама о производу у свим фазама животног циклуса	[260, 93]
Јединствени извор информација о производима у међуорганизацијском ланцу вредности	[86, 93, 339]
Систем управљања знањем о животном циклусу производа	[120]
Концепт који обезбеђује синергијску интеракцију система за обраду информација у окружењу за дизајн, производњу и одржавање производа	[365]

2.4 Концептуална и технолошка еволуција PLM-а

Иако је развој информационих технологија имао важну улогу у настанку и развоју PLM концепта, иницијатива за његово успостављањем је заправо била пословно оријентисана, развијала се под утицајем нове парадигме управљања производом у чијој основи је повезивање и синхронизација процеса пословног система посредством информација о

¹⁹ Stark (2015)

производу, која је технолошки напредак ставила у функцију стварања неопходних услова за изградњу интегрисаног окружења за њихово управљање.

Иако термин PLM познајемо тек од 2000-тих година, од када се користи за описивање „пословног приступа заснованог на колаборативном креирању, управљању и коришћењу информација у вези са производом током читавог животног циклуса“²⁰ он је у суштини настао као резултат вишедеценијске еволуције која се манифестовала кроз различите концепте. Стога се, када говоримо о настанку и развоју PLM-а, најпре морамо осврнути на концепте који су иницирали његов развој и идеје из којих је израстао, а који су се појавили много пре употребе термина PLM.

Претеча идеје о PLM-у се може препознати у концепту управљања конфигурацијама (енг. *Configuration Management - CM*) развијеном од стране америчког Министарства одбране у форми процедура за праћење својстава производа. „CM је означавао праксу систематског управљања производима на начин који одржава интегритет система и конзистентност перформанси, функционалних и физичких атрибута производа са његовим захтевима, дизајном и оперативним информацијама током читавог животног века.“²¹ Концепт је био праћен бројним стандардима који дефинишу процедуре његовог спровођења, међутим не и одговарајућом техничком подршком у виду рачунара одговарајуће снаге, који би омогућили његову аутоматизацију.

Сам настанак PLM-а непосредно је иницирала појава компјутерски подржаних технологија које су омогућиле аутоматизацију инжењерских процеса у развоју производа, као и појава система за управљање инжењерским информацијама које дефинишу производ. Наиме, потреба за унапређењима у инжењерингу производа довела је до интензивније употребе рачунара у овој области, тако се 1980-их појављују системи за рачунарски подржано дизајнирање (енг. *Computer-Aided Design - CAD*), заједно са алатима за компјутерски подржану производњу (енг. *Computer-Aided Manufacturing - CAM*) и другим САх алатима. Са масовнијом употребом ових алата долази до раста обима инжењерских информација у облику САх датотека и сродних информација које дефинишу производ (за које се користи уопштени термин подаци о производу, енг. *product data*), којима није било лако овладати. Као одговор на проблем отежане контроле и управљања овим информацијама развијени су тзв. системи за управљање подацима о производу (енг. *Product Data Management – PDM*) који су омогућили организовање и потхрањивање инжењерских информација на структуриран начин, одржавање и ревизију спецификација и докумената итд.

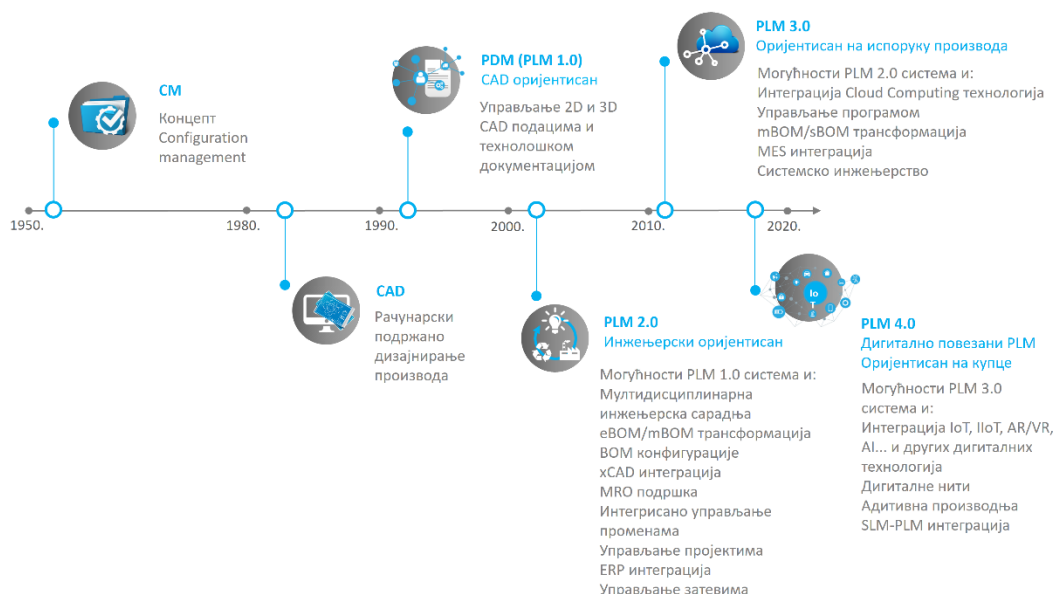
Међутим, PDM системи су опслуживали искључиво инжењерске потребе за информацијама, област њихове иницијалне примене се ограничавала на администрацију 2D и 3D MCAD (*Mechanical Computer-Aided Design*) модела, док и поред бројних функционалних надоградњи (опције визуелизације, управљање токовима рада, контрола верзија итд.) нису успели да превазиђу свој инжењерски фокус и одговоре на растуће потребе пословних система.

PLM превазилази инжењерске оквири обухватајући више функционалних области, као што су планирање производње, управљање неусаглашеностима и квалитетом, управљање ланцима снабдевања итд., развијајући се тако од CAD фокусираног система за администрацију инжењерских информација и технолошке документације до система који обезбеђује потпуно управљање дефиницијом производа кроз читав животи циклус, одржавајући интегритет ових информација и интегрише процесе од концептуалног дефинисања, преко инжењеринга производа до његовог повлачења.

²⁰ CIMdata (2002)

²¹ USA, Department of Defence (2001)

PLM је кроз претходних неколико деценија проживео континуирани еволутивни развој, пре свега термилошки - од EDM (*Engineering Data Management*), преко PDM (*Product Data Management*) и cPDM (*collaborative Product Definiton management*) до PLM. Међутим у литератури постоје бројне полемике у којој мери се значење ових акронима преклапа са значењем PLM-а, да ли су то концепти из којих је PLM еволуирао или су саставни део функција данашњих PLM система, стога се у означавању фаза у еволуцији онога што данас познајемо као PLM, чешће користи категоризација од PLM 1.0 до PLM 4.0 (слика 5). Наиме PLM системи су прешли пут од CAD оријентисаног PDM-а са ограниченим могућностима управљања променама и конфигурацијама (PLM 1.0) кроз функционалне надоградње у домену мултидисциплинарне инжењерске сарадње, интегрисаног управљање променама, ERP (*Enterprise Resource Planning*) и MES (*Manufacturing Execution System*) интеграције, механизма eBOM (*engineering Bill of Materials*)/mBOM (*manufacturing Bill of Materials*)/sBOM (*service Bill of Materials*) трансформације, интеграције *Cloud Computing* технологија, све до дигитално повезаних платформи (PLM 4.0) које управљају дигиталним нитима и користе предности IoT (*Internet of Things*), IIoT (*Industrial Internet of Things*) и др. технологија које подржавају дигиталну трансформацију пословања.



Слика 5. Хронологија настанка и развоја PLM-а
Дефинисано на основу анализа [129]

PLM није еволуирао само термилошки и технолошки, већ и концептуално, мењајући своју улогу и пословни фокус. При чему се ова еволуција манифестовала кроз више праваца, рефлектујући нове тржишне трендове, технолошки напредак и могућности које је донео, али пре свега нове пословне потребе предузећа. Крајем 1980-их година кључна брига индустријских произвођача била је како на ефикасан начин манипулисати инжењерским информацијама о дефиницији производа, са фокусом на повећање оперативне ефикасности и контроле трошкова. При чему се преовлађујућа пракса ослањала на увођење специјализованих ИТ алата који су махом служили за администрацију инжењерских информација о дефиницији производа и нису били дизајнирани за подршку мултидисциплинарној сарадњи. Временом овај приступ је еволуирао ка усвајању комплетних алата и генеричких апликације које су омогућиле аутоматизацију специфичних пословних функција, док су напредне могућности управљања структурама производа, конфигурацијама и контролом промена створиле потенцијал за унапређење квалитета производа. PLM убрзо еволуира у специфичне пословне апликације које су обезбедиле стандардне моделе информација, и унапред конфигурисане токове рада, што је омогућило

бољу организацију, условљавајући краће време до пласмана нових производа. Временом, PLM системи прерастају у свеобухватна пословна решења, чији је фокус на управљању дефиницијом производа кроз читав животни циклус. Оваква решења су била заснована на најбољој пословној пракси што је предузећима омогућило да прилагоде своје процесе индустријским стандардима.



Слика 6. Концептуална и технолошка еволуција PLM-а [89]

Данас смо већ дубоко у новој ери еволуције PLM-а, за коју се очекује да ће изнедрити потпуно нове димензије овог концепта. Наиме, тренд дигитализације, инкорпорација технологија као што су *Cloud Computing*, IoT, ПоТ, машинско учење, проширена и виртуелна стварност итд., довели су до еволуције PLM система у дигитално засноване платформе при чему они данас постају катализатори дигиталне трансформације пословања.

У расправама о овако сложеним и свеобухватним PLM решењима применљивим у тренутним индустријским условима аутори све чешће користе термин управљања животним циклусом система (енг. *System Lifecycle Management* - SysLM). Наиме, убрзан развој IoT и IoS (*Internet of Service*) технологија и еволуција производа у сложене системе повезаних производа, доводе до еволуције процеса њиховог развоја у интердисциплинарни дигитални инжењеринг чију основу чине инжењерски приступи засновани на моделима (MBD, MBe, MBSE).

Све ово условљава ширење PLM концепта мимо тренутног доминантног контекста, што се према Eigner [129] управо односи на SysLM концепт, који се дефинише као „интердисциплинарни, холистички приступ управљању информацијама који проширује данашњи PLM на рану фазу инжењеринга узимајући у обзир и интегришући све дисциплине, при чему су све фазе развоја и резултирајући модели током животног циклуса система укључени и повезани како би се постигла потпуна следљивост“.²² У намери да истакне разлике SysLM концепта у односу на конвенционалну примену PLM-а, Eigner [129] наводи следеће специфичности:

- SysLM не описује само производе већ и комплетне системе;
- У основи SysLM је интердисциплинарни приступ интеграцији;
- SysLM пружа потпуну интеграцију током читавог животног циклуса производа;
- SysLM подржава инжењерске приступе засноване на моделима (MBD, MBe, MBSE).

²² Eigner и др. (2014)

2.5 Пословне вредности PLM-а

Иницијално установљен зарад повећања оперативне ефикасности у процесима развоја производа, PLM је временом прерастао у системски приступ унапређењу пословних перформанси чије импликације се шире на све аспекте пословања, генеришући значајан потенцијал за оптимизацију пословних процеса и унапређење квалитета производа. Данас се PLM сматра једним од кључних концепата за суочавање са изазовима управљања информацијама о производу у индустријским предузећима у контексту савладавања њихове сложености, проблема доступности и транспарентности, подржавајући принципе кохезивности, следљивости, конзистентности [327, 331].

PLM има улогу кључног концепта за испуњавање неких од најважнијих захтева пословања, који се према *Pfouga* и др. [320] односе на финансијске аспекте, попут ефикаснијег управљања трошковима и раста прихода; на саме производе укључујући иновативност, време до пласмана на тржиште и квалитет; али и на регулативне аспекте као што су усаглашеност, управљање ризицима повезаним са производима итд. PLM ствара конкурентски потенцијал предузећа промовишући оперативну изврсност али и кроз боље одговоре на изазове сарадње између глобално дисперзованих тимова за развој производа, сложености производа, све краћег животног циклуса, интеграције добављача у процесе дизајна, контроле утицаја производа на животну средину итд. Поред тога, PLM решења пружају подршку у имплементацији различитих пословних иницијатива, као што су колаборативни развој производа, симултани инжењеринг, дигитална трансформација пословања и др.

Језгро PLM-а чини ИТ подржано управљање информацијама о животном циклусу производа, на начин који обезбеђује њихово интегрисање, следљиве везе, брзо проналажење, ефикасну дисеминацију и поновну употребу. На овај начин PLM смањује време чекања на информације, утиче на унапређење опште оперативне ефикасности, већу продуктивност рада, обезбеђује бољу сарадњу како интерно тако и у међуорганизацијском ланцу вредности, минимизира преправке, омогућава брже доношење одлука итд., резултирајући уштедама у времену и смањеним трошковима. Треба имати у виду да се пословне вредности које произилазе из примене PLM-а не генеришу искључиво кроз примену напредних ИТ алата и система за интегрисано управљање информацијама, већ и кроз промене у процесима, праксама и методама рада, имајући у виду да увођење и доследна примена PLM приступа захтева критичко преиспитивање и оптимизацију оперативних модела и процеса, укључујући и стандардизацију радних процедура, али и промене у организационој култури.

Користи које PLM генерише сежу много даље од побољшања на оперативном нивоу која утичу на повећање продуктивности, директне новчане уштеде итд. Пословне вредности генерисане применом PLM-а манифестују се кроз раст конкурентности, развој интелектуалне имовине предузећа, стицање контроле над животним циклусом производа, раст тржишног удела, задовољство и већу стопу задржавања купаца, оптимизацију програмске оријентације предузећа, контролу трошкова целокупног животног циклуса производа, раст иновационих способности предузећа, боље управљање и разумевање ризика повезаних са производом, контролу утицаја производа на животну средину [16, 62, 193, 365, 392, 409] и многе друге. Према анализама које даје *CIMdata* [86] утицај PLM-а се манифестује на нивоу 1) пословних перформанси, 2) организације рада, 3) задовољства корисника, 4) производа и услуга, 5) перформанси процеса, 6) операција производних система и 7) ланца снабдевања.

PLM утиче на смањење трошкова свакодневних пословних операција и оптимизацију напора повезаних се развојем, одржавањем и одлагањем производа, елиминишући

неефикасности кроз боље управљање информацијама о производима и сродним интелектуалним ресурсима. Такође, доприноси унапређењу ефикасности подржавајући рад на структуриранији начин [85], омогућава брже реаговање на промене на тржишту у понашању потрошача или ланцима снабдевања. Имајући у виду, наведено могуће је идентификовати три кључна аспекта утицаја PLM-а:

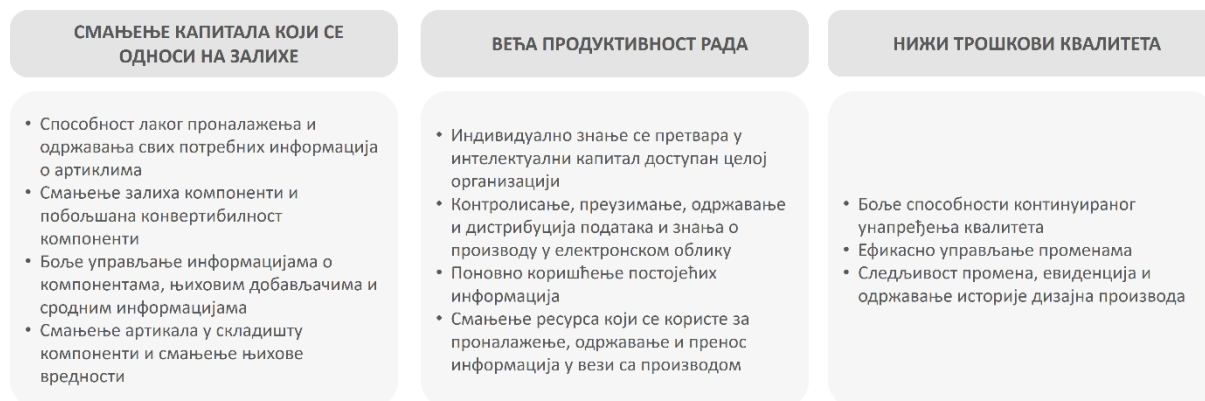
- **квалитет:** минимизирање губитака у производњи, раст иновативности производа, унапређен процес одлучивања, смањен ризик од неусаглашености;
- **трошкови:** нижи трошкови развоја производа, нижи трошкови услед побољшане оперативне ефикасности, минимизирање трошкова проузрокованих проблемима са квалитетом, оптимална употреба ресурса итд.;
- **време:** краће време увођења производа на тржиште, брже инжењерске промене.

Различите академске дискусије поткрепљене резултатима емпиријских истраживања верификују различите ефекте примене PLM приступа, доприносећи разумевању начина на које PLM обликује пословне компетенције које стварају потенцијал за бржи пласман производа на тржиште, снижавање трошкова, повећање укупне ефикасности, унапређен квалитет производа и услуга, подстицање иновативности, редуковање ризика и раст прихода. Преглед најважнијих ефеката имплементације PLM-а верификованих у литератури дат је у табели 2, приказану листу не треба сматрати исцрпном за све могуће ефекте које имплементација PLM-а може имати на пословање.

Табела 2. Ефекти имплементације PLM-а

Ефекти имплементације PLM-а	Верификовани у студијама
Олакшано прикупљање и дисеминација информација о животном циклусу производа, унапређен квалитет и доступност информација	[16, 62, 86, 100, 138, 154, 156, 193, 365, 375, 392, 467]
Побољшана сарадња и комуникација између функционалних група, подршка њиховим мултидисциплинарним интеракцијама	
Поједностављена агрегација и управљање знањем о производу	
Стандардизација и аутоматизација кључних активности у процесу развоја производа	
Убрзан процес инжењерских промена, синхронизација и координација промена између различитих домена	
Редуковање грешака и рано откривање проблема са квалитетом производа	
Боља усаглашеност производа са релевантним регулаторним стандардима	
Унапређено одлучивање у вези са развојем производа, производњом, алокацијом ресурса итд.	
Већа следљивост кроз систематску евиденцију и дисеминацију информација о променама кроз процесе низводно у ланцу вредности	
Унапређене могућности стварања производа прилагођених специфичним преференцијама потрошача	
Лакше управљање варијабилностима производа уз минимизирање ризика од неусаглашености	
Минимизирање губитака и отпада у производњи	
Боља контрола трошкова животног циклуса производа	
Бржи <i>engineer-to-order</i> процеси кроз боље управљање и поновну употребу компоненти	
Побољшане постпродајне услуге засноване на знању о производу	
Подршка у изградњи флексибилних ланаца снабдевања, поспешивање њихове рационалности и економске ефикасности	
Поједностављен и децентрализован приступ ажурним информацијама о производу за спољне сараднике	
Већа ефикасност и агилност производних процеса система	
Поновна употреба генерисаног знања о производу при развоју нових и оптимизацији постојећих решења	

Примена овог концепта доноси финансијски мерљиве ефекте који се манифестују кроз непосредне и индиректне новчане користи. Непосредне новчане користи од имплементације PLM-а *Immonen* и *Saaksvuori* [193] везују за акумулације уштеда услед смањења капитала који се односи на залихе, веће продуктивности рада и нижих трошкова квалитета, захваљујући развојном потенцијалу који PLM доноси у овим областима (слика 7). Док се индиректни утицај остварује као последица бржег пласирање производа на тржиште, ефикаснијег реаговања на промене итд. овакве користи произилазе из повећања ефикасности и ефективности процеса организације.



Слика 7. Непосредне новчане користи од увођења PLM-а кроз акумулацију уштеда [193]

PLM посредује у изградњи скупа пословних компетенција, које стварају потенцијал за развој кључних аспеката конкурентске способности својствених прерађивачкој индустрији, који се традиционално односе на време потребно да се:

- нови производ пласира на тржиште;
- постигне масовна производња новог производа;
- реагује на промене на тржишту и
- одговори на захтеве купаца за услугама.

Развој поменутих компетенција, лежи у оптимизацији интерних процеса организације, према *Immonen* и *Saaksvuori* [193] PLM нуди корисна решења за превазилажење неких од кључних проблема својствених процесима прерађивачке индустрије укључујући: сложене процесе развоја производа, недовољан потенцијал за искоришћавање предности *Concurrent Engineering* концепта, проблеме у прикупљању и верификацији захтева, немогућност синхронизације промена између различитих домена, недостатак информација о неусаглашеностима из процеса производње, неефикасне ланце снабдевања, недовољну следљивост промена итд.

Један од најважнијих развојних потенцијала и најзначајнији домен утицаја PLM-а се односи на оснаживање иновационог система предузећа. Резултати примене овог приступа у пракси верификовани кроз различите студије потврђују премису о позитивном утицају његовог усвајања на перформансе процеса развоја производа. Подршка коју PLM у том контексту обезбеђује се огледа кроз неколико кључних аспеката: управљање развојем производа у мултидисциплинарном контексту уз ефикасну крос-функционалну сарадњу и колаборативни рад, узимајући у обзир дисперзовану природу ових процеса; подршка примени концепта системског инжењерства и истовременог инжењеринга; интегрисано управљање идејама, пројектима и производним портфолиом; успостављање јединственог извора информација о дефиницији производа и интеграција свих повезаних информација; одржавање базе података о производу за поновну употребу при развоју нових и оптимизацији постојећих решења; ефективна сарадња и усклађивање активности са партнерима у ланцу снабдевања; интеграција различитих извора знања и ефикасно

управљање знањем у међуорганизацијском контексту; потпуно интегрисање управљања квалитетом у процесе развоја производа и многе друге.

Zammit и др. [467] указују да се ефекти примене PLM-а манифестују кроз већу ефикасност процеса развоја производа захваљујући интегрисаном информационом окружењу. *Santamessa* и др. [62] указују да се ови ефекти могу посматрати кроз оперативну димензију (смањење грешака у дизајну, поновна употреба информација, итд.) организациону (већи квалитет дизајна, мањи утицај промена на процес развоја итд.) и стратешку димензију (већа иновативност производа, нижи трошкови итд.).

Према налазима студија [321, 401] развој способности управљања представља главни посреднички механизам преко ког PLM утиче на перформансе процеса развоја нових производа, укључујући:

- способност управљања процесима: способност контроле и побољшања процеса кроз унапређење ефикасности и оптимизацију процеса;
- способност координације: координација ресурса партнера у развоју нових производа кроз успостављање механизма међуорганизацијске координације;
- способност апсорпције: односи се на способност асимилације и примене знања у процесима развоја производа, стеченог из екстерних извора.

Данас се све више говори о новој улози PLM-а, као катализатора дигиталне трансформације пословања. Данашњи PLM системи инкорпорирају технологије које граде способност система за успостављање конзистентних дигиталних нити, повезивањем свих врста дигиталних информација и докумената о производу кроз читав животни циклус обезбеђујући следљивост, чиме стварају основу за дефинисање и имплементацију одрживих и ефективних дигиталних близанаца производа.

2.6 Технолошки контекст PLM-а

PLM је пословни концепт омогућен технолошким решењем које се може тумачити као „алат за управљање процесима и односима између информација дистрибуираних у различитим фазама животног циклуса производа, које се генеришу акцијама различитих агената, било људи или софтверских решења.“²³ При чему је јасно да се управљање животним циклусом производа не може одвијати у монолитним решењима, већ захтева интеграцију инжењерских апликација и различитих система за обраду информација у PLM окружењу, стварајући јединствени информациони систем. Његова примарна функција произилази из самог значења појма информациони систем предузећа, према општеприхваћеном ставу то су комерцијални софтверски алати који предузећу пружају услуге обраде, администрације и архивирања информација, које се генеришу у пословним активностима предузећа. Општа улога ових система се односи на „откривање и организовање информација и знања, координацију преноса информација унутар предузећа или на релацији између предузећа и окружења, интеграцију информација оријентисаних на трансакције и пословне процесе.“²⁴ PLM систем има јединствену улогу у стварању пословне вредности предузећа, која произилази из дисеминације валидних и правовремених информација о производу унутар предузећа, повезивања и синхронизације интерних процеса, успостављања механизма међуфункционалне интеграције и сарадње, постизања следљивости информација о производима кроз читав животни циклус итд.

Задатак PLM система у ужем смислу се односи на подршку заједничком креирању, управљању и употреби интелектуалне имовне повезане са производима, обезбеђивању

²³ *Stark* (2015)

²⁴ *Song* и др. (2006)

њихове кохезије и следљивости кроз читав животни циклус, унутар организационих граница или кроз међуорганизацијски ланац вредности, чинећи их доступним у одговарајућем формату, детаљима и контексту.

У ширем смислу, улога PLM система се према *Immonen* и *Saaksvuori* [193] односи на „интегрисање функција пословног система путем повезивања и контролисања различитих процеса кроз информације о производима“ што се базира на њиховој способности да осигурају следљивост информација о производу кроз различите процесе животног циклуса производа, остварујући јединствену функцију у свакој од његових фаза (слика 8).



Слика 8. Улога PLM система кроз фазе животног циклуса производа

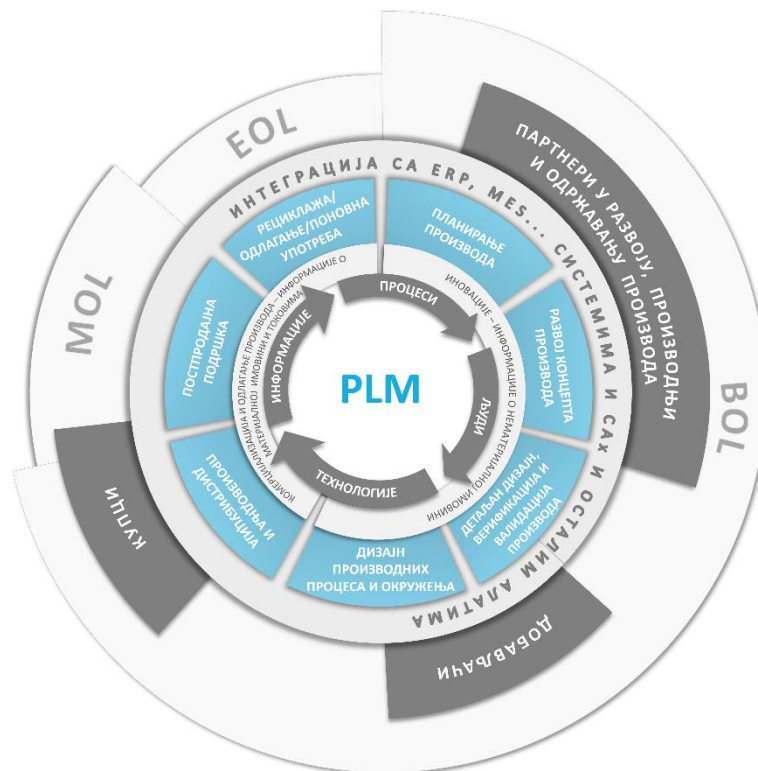
Према *Cao* и др. [64] и *dos Santos* и др. [120] PLM систем обезбеђује:

- инфраструктуру за управљање информацијама односно интеграцију, манипулацију и дељење информација о животном циклусу производа;
- скуп пословних апликација за подршку коришћењу информација о производу у различитим фазама животног циклуса производа;
- систем управљања знањем за генерисање и ширење знања о производу и
- колаборативно окружење за интеграцију пословних јединица кроз ланац вредности.

„PLM систем је првенствено технологија интеграције, а не технолошко острво или индивидуални систем за обраду информација, његов задатак се односи на обезбеђивање неопходних услова за повезивање засебних система за обраду података, процеса и фрагмената аутоматизације у циљу стварања интегрисаних тоталитета.“²⁵ У том контексту, PLM систем настаје као резултат интеграције алата у области инжењеринга производа са ИТ решењима за управљање производњом и ланцима снабдевања у јединствено

²⁵ *Immonen* и *Saaksvuori* (2013)

технолошко решење. Иако омогућавају аутоматизацију процеса и раст оперативне ефикасности, успостављање PLM концепта се не може поистоветити са засебном имплементацијом и функционисањем оваквих алата. Штавише, то узрокује изоловане силосе информација и њихово фрагментирано управљање, захтевајући огромне напоре у интеграцији и успостављању следљивости информација. Увођење оваквих алата може бити у функцији имплементације PLM концепта једино кроз успостављање њихове синергијске интеракције и интеграцију у јединствено технолошко решење. У суштини, PLM систем (слика 9) представља интеграционо језгро чији је задатак да повеже тзв. информационе силосе и фрагменте аутоматизације које стварају различити ИТ алати и системи у PLM окружењу, који постају чврсто интегрисани и синхронизовани. У том контексту PLM се не заснива на једном решењу, већ пре на синергијској интеракцији различитих ИТ решења за подршку оперативној извршности пословања [365].



Слика 9. Концептуални оквир PLM система

Према *CIMdata* [89] PLM системи интегришу три категорије алата:

- Алате за стварање, анализу, симулацију и документовање информација о дефиницији производа и сличних интелектуалних ресурса (MCAD, S&A, CAM);
- Алате за колаборативно управљање дефиницијом производа (енг. *collaborative Product Definition management - cPDm*);
- Системе за дигиталну производњу (енг. *Digital Manufacturing*) који подржавају дефинисање производних процеса и обухватају алате за подршку симулацији и анализи производних процеса и производног окружења.

2.6.1 Функционални опсег PLM система

Иако литература бележи бројне напоре да се PLM објасни и формално дефинише, још увек постоје одређене конфузије или бар недоречености у вези овог феномена, нарочито у контексту дефинисања функционалног опсега PLM система. Аутори дају различите систематизације у зависности од тога како поимају PLM и којим аспектима овог концепта

се баве, са друге стране, на описе који долазе са тржишта PLM технологија се не можемо у потпуности ослонити будући да ИТ компаније често промовишу своја решења под акронимом PLM иако она својим функционалним опсегом покривају само део процеса у животном циклусу производа. Све ово отежава идентификовање комплетног и јединственог скупа функционалности које PLM систем треба да подржи.

Према *Gmelin* и *Seuring* [154] PLM систем можемо разумети као технолошко решење чије функције подржавају управљање информацијама, процесима и инжењерским пројектима. *Tata Technologies* [404] даје општу класификацију функција PLM система на две категорије, прву која се односи на ауторизацију информација о производима, што обухвата мехатроничко и геометријско пројектовање производа; функције управљања структурама производа; симулације производа, итд. Док друга категорија обухвата функције усмерене на управљање информацијама о производима, што укључује управљање променама; претраживање и управљање класификацијама; визуализацију; управљање проширеном колаборацијом предузећа; управљање портфолиом, програмима и пројектима итд.

Као базичне функционалне могућности PLM система *Omerali* и *Kaya* [308] идентификују управљање дефиницијом производа, управљање процесима, управљање технологијама и иновацијама, следљивост информација, власништво и лиценцирање. *Eigner* [129] даје нешто шире виђење функционалног домена PLM система (слика 10), обухватајући перспективу читавог животног циклуса производа, према којој PLM системи подржавају следеће пословне домene: 1) управљање информацијама о производима, 2) инжењерску сарадњу, 3) развој производње, 4) управљање потребама купаца и 5) функције подршке процесима ланца снабдевања. Данас када се све чешће говори о подршци коју PLM пружа нивоу менаџмента, *Eigner* [129] овој листи додаје и управљачке функције, што укључује управљање портфолиом, програмима и пројектима, подршку одлучивању, аналитику и извештавање итд.



Слика 10. Пословни домени обухваћени PLM-ом [129]

Допринос у систематизацији функционалних могућности које PLM системи подржавају, дали су и *Schuh* и др. [365]. Наиме, они конструишу општи модел PLM система чије су могућности класификоване у четири функционална подручја. Као основу функционалности било ког PLM система наводе управљање информацијама о дефиницији производа што

укључује функције структурирања производа, планирања производа и управљања променама. Друга функционална област се односи на генерисање и ажурирање информација о производима, укључујући управљање квалитетом, сервис, одржавање итд. Док се трећа област односи на управљање процесима што је омогућено кроз функције управљања пројектима, управљања документима, сарадње итд. Као општа способност било ког PLM система наводи се интеграција система, што се односи на скуп стандарда и софтверских технологија које омогућавају повезивање и несметану размену информација између хетерогених алата у PLM окружењу.

PLM системи интегришу и синхронизују домене планирања производа, инжењеринга производа и процеса, производње и сервисног инжењеринга. Поред вертикалне интеграције која обухвата процесе предузећа, PLM обезбеђује и хоризонталну интеграцију између процеса и система у међуорганизационом ланцу вредности. Међутим, и поред настојања да превазиђе инжењерске оквири и обухвати читав животни циклус производа, евидентно је да PLM није еволуирао даље од система за подршку BOL и MOL фазама, имајући у виду недовољну функционалну зрелост PLM технологија у домену подршке EOL процесима.

Иако се разлике у ставовима аутора по питању функционалног опсега PLM система не могу оспорити, оне не доводе у питање општеприхваћене дефиниције PLM-а. Треба имати у виду различите перспективе и контекст тумачења али и периоде у којима су ове систематизације настале, с обзиром на константну концептуалну и технолошку еволуцију PLM-а.

Анализирајући могућности које различити извори дефинишу као део функционалног опсега свеобухватног PLM система, а на основу детаљног прегледа доступне литературе из ове области, могуће је извести општу систематизацију скупа функционалности које PLM систем подржава:

- генерисање и визуелизација информација о дефиницији производа и процеса;
- управљање дефиницијом производа кроз животни циклус и успостављање следљивости информација;
- хоризонтална и вертикална интеграција система и процеса у ланцу вредности.

Овове треба додати и технологије подршке, попут оних које граде кохезивну способност PLM система, укључујући интеграцију система (интеграција са САХ и другим ауторским алатима, интеграција са ERP, MES и другим пословним системима, интеграција са екстерним системима у пословној мрежи); технологије за сарадњу; извештавање и аналитику, технологије претраживања итд.

2.6.2 Компоненте и ИТ архитектура PLM система

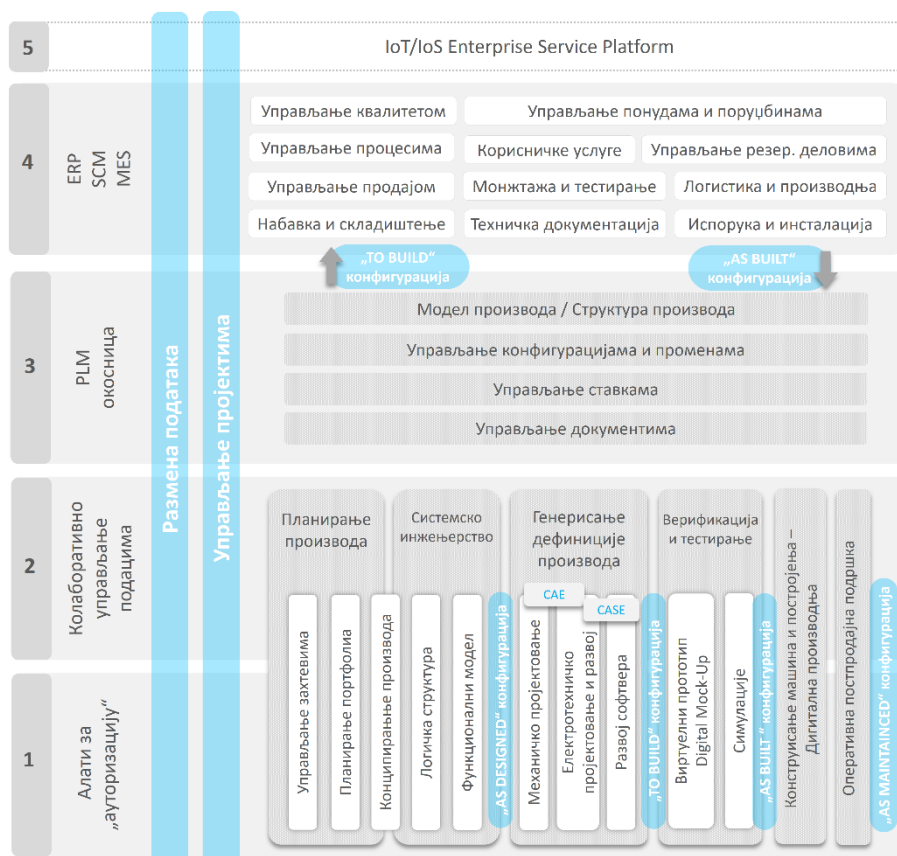
Доследна примена PLM приступа почива на обезбеђивању адекватног ИТ оквира, који подржава ефикасну синхронизацију различитих извора информација, тзв. *end-to-end* интеграцију и следљивост информација, уз неопходну флексибилност система.

Према концепту који је успоставила немачка VDA (*Verband der Automobilindustrie*) радна група (слика 11), ИТ оквир PLM система мора бити конфигурисан на начин који омогућава интеграцију алата за ауторизацију информација о производу, колаборативно управљање информацијама које генеришу, хоризонталну интеграцију интердисциплинарних модела података и успостављање потпуне следљивости информација.

Према VDA моделу, типични PLM системи пројектују четири слоја:

- Први слој: ауторски системи (енг. *authoring systems*) – алати за ауторизацију информација које дефинишу производ, њихову анализу, симулацију и документовање;

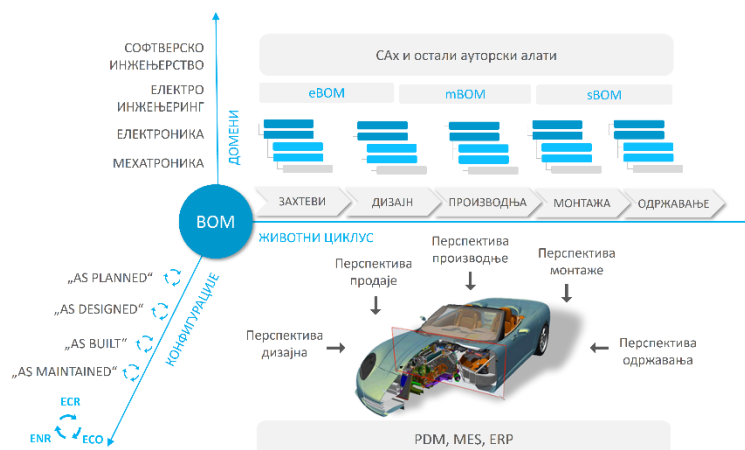
- Други слој: колаборативно управљање подацима, што је заправо административни слој система, који управља изворним форматима генерисаним у ауторским системима;
- Трећи слој: техничка и организациона окосница PLM-a – ниво који омогућава стварне инжењерске функције, одговоран за генерисање структуре производа, управљање документацијом, конфигурацијама и променама;
- Четврти слој: административни слој за координацију управљања организационим ресурсима, планирања производње и логистике. На овом нивоу се одвија део управљања конфигурацијама повезан са логистиком и производњом, обично кроз интеграцију са ERP/SCM/MES пословним системима.



Слика 11. Архитектура PLM система [130]

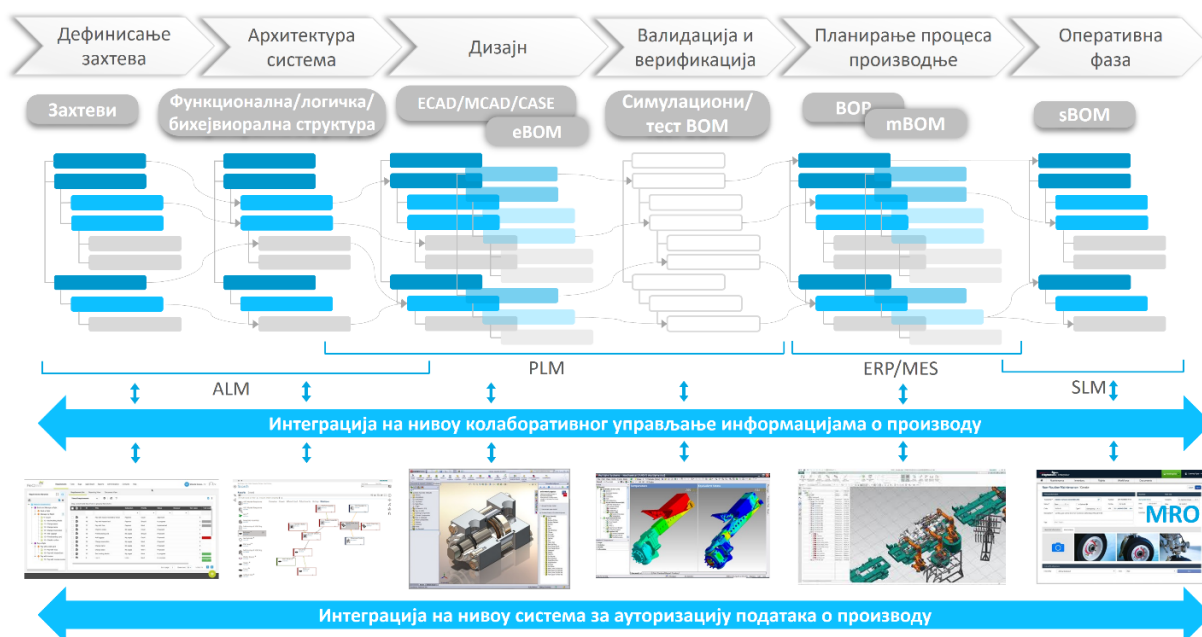
Eigner [129] дефинише и проширили модел PLM система, који за разлику од VDA модела пројектује нови слој како би се обухватио целокупан животни циклус сложених производа који делују у контексту IoT и IIoT технологија. С тим у вези, као пети слој система пројекту тзв. *IoT/loS Enterprise Service Platform* слој који укључује технологије за прикупљање (IoT/loS базиране технологије), анализу (*Big Data Analytics* и др. технологије) и визуелизацију (кроз *Digital Twin of Performance* димензију дигиталних близанаца) информација о производу током његове оперативне фазе.

Овако конципирана архитектура PLM система подржава концепт тзв. *end to end* управљања конфигурацијама (*as planned/to build/as built/as maintained*) заснованог на интегрисаном управљању променама. Сам концепт се заснива на тзв. BOM (*Bill of Material*) оријентисаном приступу (слика 12), чији су основни елементи повезивање животног циклуса производа преко умрежавања информација из интелигентно интегрисаних алата за ауторизацију кроз асоцијативне структуре производа и извођење различитих погледа у зависности од области примене и перспективе корисника (eBOM/mBOM/sBOM) [130].



Слика 12. Тродимензионални координатни модел PLM-а: BOM оријентисани приступ [258]

Слика 13 приказује типичне структурне приказе производа које се генеришу у PLM-у, истовремено илуструје теоријски модел следљивости информација кроз читав животни циклус. Треба нагласити да је модел више визија него одраз тренутног стања, будући да се овако свеобухватна BOM интеграција у пракси ретко успоставља. *Eigner* [129] објашњава да се проблеми интеграције обично јављају на релацији између захтева и eBOM структура, укључујући и релације између eBOM и mBOM/BOP структура, што је заправо граница између функционалних домена PLM и ERP/MES система. Представљена визија потпуне следљивости информација би могла бити достигнута значајнијом применом инжењерских приступа заснованих на моделима (MBD, MBe, MBSE) који подразумевају већи ниво дигиталног моделирања и воде ка успостављању конзистентних дигиталних нити итд. [129].



Слика 13. Теоријски модел следљивости информација кроз животни циклус производа [129]

Према *Arnold* и др. [15], PLM мора бити имплементиран у процесе предузећа као свеобухватни концепт за генерисање пословне вредности, имајући у виду су ови процеси имплементирани у више пословних система (слика 14), као што су ERP, MES и др., управљање животним циклусом производа се не може одвијати у монолитним решењима, већ се базира на интегрисању више пословних система у опште решење за управљање информацијама. Чиме се постиже синхронизација између процеса животног циклуса.

PLM подржава рекурзивне и итеративне интелектуалне активности, управљајући дигиталним, контекстуално оријентисаним интелектуалним ресурсима односно информацијама о дефиницији производа [86], при чему одржава интегритет и следљивост оваквих информација кроз читав животни циклус производа. Са друге стране, ERP системи подржавају управљање трансакционим типом података, фокусирајући се на планирање производње, управљање залихама, трошковима и другим материјалним и финансијским аспектима пословања [55], омогућавајући оптимизацију оперативног управљања на бази координације различитих пословних функција. Док MES системи прате и контролишу свакодневне производне операције у реалном времену користећи податке добијене од машина, оператора и сензора [55], омогућавајући већу флексибилност и бољу видљивост производних процеса у реалном времену. Механизми eBOM/mBOM/sBOM трансформације представљају окосницу интеграције са ERP/MES системима, заправо кроз успостављање следљивих веза између xBOM структура, PLM одржава синхронизованост информација у пословним системима низводно у ланцу вредности, при чему се промене настале у дефиницији производа дистрибуирају кроз процесе у производњи, логистици итд.



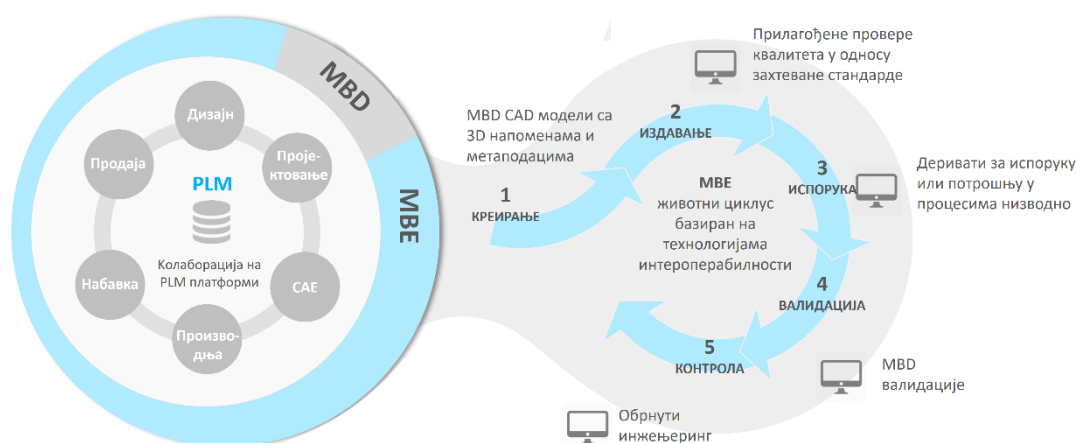
Слика 14. Концепт интеграције PLM, ERP и MES система
Прилагођено према [416]

2.6.3 Савремене тенденције у еволуцији PLM технологија

Нове инжењерске парадигме ослоњене на дигиталне технологије, еволуција производа у системе паметних повезаних производа и све сложенији међуорганизацијски ланци вредности итд., трасирају нови правац у еволуцији PLM технологија, крећући се ка дигитално повезаним и флексибилним PLM платформама, које користе предности технологија рачунарства у облаку (енг. *Cloud Computing*), IoT и IIoT технологија, вештачке интелигенција (енг. *Artificial Intelligence - AI*), технологија машинског учења (енг. *Machine Learning*) и проширене и виртуелне реалности (енг. *Augment and Virtual Reality - AR/VR*) итд. PLM системи данас све више интегришу технологије које пружају напредне могућности интердисциплинарног моделирања, виртуелне симулације и анализе, подржавајући на тај начин успостављање дигиталног инжењеринга, инжењерских приступа заснованих на моделима и конзистентних дигиталних нити, што их чини катализаторима дигиталне трансформације пословања.

Еволуција *Cloud Computing* технологија као конвергенције различитих ИТ трендова, попут виртуелизације, дистрибуираног рачунарства, аутсорсинга садржаја, мрежног рачунарства

итд. [478], омогућила је редефинисање традиционалних приступа имплементацији PLM-a, ослободивши на развој локалних система са клијент-сервер архитектуром, појавом PLM система развијених у *Cloud* окружењу (енг. *Cloud-based Product Lifecycle Management – Cloud PLM*), која се углавном испоручују као *Software as a Service* (SaaS) решења. Насупрот прилично песимистичким прогнозама везаним за тренд напуштања конвенционалних *on promise* решења и прелазак на *Cloud* инфраструктуру, махом због проблема отежаног управљања хибридним *on-premise/Cloud* решењима, миграције и безбедности података, данас се чини да ера *Cloud PLM* система тек почиње. За разлику од *on premise* приступа у ком предузећа у *својој кући* хостују силосе софтверских система, *Cloud Computing* технологије преносе рачунарску снагу, складиштење података и услуге трећим странама [163]. Поред флексибилније и скалабилне архитектуре за лакше прилагођавање пословним потребама које се континуирано мењају, интеграција *Cloud Computing* технологија је обезбедила нижа капитална улагања у ИТ инфраструктуру и омогућила PLM системима да одговоре на захтеве отворености и децентрализације, превазилазећи проблем неповезаних процеса и несинхронизованих информација дуж проширеног ланца вредности, одржавајући његову флексибилност.



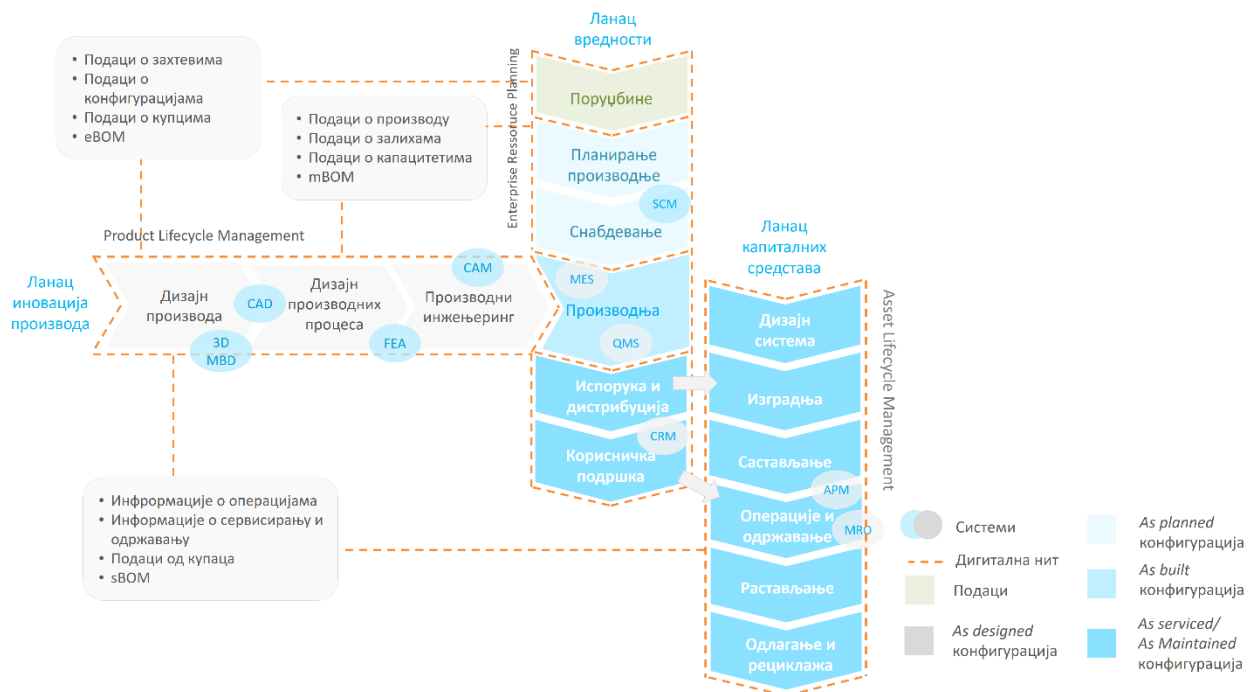
Слика 15. Могућности савремених PLM система за моделирање и симулацију свих аспеката производа [227]

Вођени растућим трендом производње паметних повезаних производа, индустријска предузећа све чешће усвајају инжењерске приступе засноване на моделима, као што је дизајн заснован на моделима (енг. *Model-Based Design – MBD*), инжењерство засновано на моделима (*Model-Based engineering - MBe*) и системско инжењерство засновано на моделима (*Model-Based Systems Engineering - MBSE*), што је заправо део ширих стремљења ка преласку на нову инжењерску парадигму тзв. дигиталног инжењеринга (слика 15). Који се концептуализује као „дефинисање интегрисаног окружења које креира, управља и дистрибуира дигиталну дефиницију производа широм предузећа, кроз формализовану примену различитих нивоа вишедимензионалног моделирања за подршку системским захтевима, пројектовању, верификацији и валидацији производа“²⁶

У том контексту PLM системи данас морају бити у стању да успоставе дигитализовани животни циклус производа кроз моделирање и симулацију свих аспеката производа и хоризонталну интеграцију резултирајућих дигиталних модела: модели архитектуре система (функционалне и логичке структуре), конструкциони модели (ECAD, MCAD модели итд.), симулациони модели, итд. Другим речима, PLM системи морају бити у стању да прецизно

²⁶ CIMdata (2017)

опишу и симулирају све аспекте производа у дигиталном окружењу обухватајући више домена [405]. Штавише, PLM системи данас инкорпорирају технологије способне да креирају виртуелну реалност стварних операција и користе IoT и IIoT технологије за комуникацију са другим системима у реалном времену. PLM системи данашњице успостављају конзистентне дигиталне нити (енг. *Digital Thread*) које омогућавају дигиталну следљивост кроз читав животно циклус производа као резултат повезивања свих врста дигиталних информација о производу које потичу из различитих информационих силоса организације (слика 16). Такође, у њих су utkани подаци из оперативне фазе производа прикупљени у реалном времену уз помоћ технологија као што су IoT и IIoT, који се обрађују применом напредне аналитике, која користи технологије вештачке интелигенције, подржавајући предикцију и оптимизацију перформанси производа. Као резултат координисаних дигиталних нити, PLM технологије омогућавају успостављање дигиталних близанаца (енг. *Digital Twin*) виртуелних, дигиталних описа који су у стању да изврше инструкције које показују како физичка имплементација производа треба да функционише и омогуће симулацију и валидацију функционалности и понашања производа у стварном свету [87, 328].



Слика 16. Дигитална нит кроз животно циклус производа [194]

3 СПЕЦИФИЧНОСТИ ПРОЦЕСА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ PLM КОНЦЕПТА

Имплементација PLM-а је сложен и опсежан трансформациони процес, који се не заснива искључиво на аутоматизацији пословних процеса већ укључује и њихову оптимизацију, промене у постојећим управљачким и организационим механизмима, захтева критичко преиспитивање и оптимизацију оперативних модела али и прилагођавања у контексту организационе културе. „Увођење PLM-а не захтева промене искључиво у ИТ сфери, већ и на стратешком нивоу, све до нивоa индивидуалних знања и способности запослених.“²⁷ Ово произилази из чињенице да PLM није искључиво технолошки концепт за подршку управљању информацијама о животном циклусу производа, већ стратешки пословни приступ који мора бити дефинисан на највишем нивоу организације.

Јасно је да се проблем имплементације PLM-а „не своди искључиво на увођење софтверског слоја који интегрише информације о производу из различитих информационих силоса у PLM окружењу, иако је интеграција информација у основни овог концепта.“²⁸ Његова имплементација је заправо пословно оријентисана иницијатива, која подразумева усаглашавање са PLM моделом пословања у чијој основи је концепт управљања организационим променама, укључујући редизајн процеса, организационе структуре и улога, прилагођавања организационе културе, оснаживање запослених за прихватање промена у организационом окружењу итд. При чему је фокус на структурираном приступу транзицији организације из постојећег у жељено, очекивано стање.

Иако поједине студије попут [379, 424] наглашавају технолошку перспективу као критичну за успех у имплементацији PLM-а, бавећи се питањима интероперабилности и интеграције информација у PLM окружењу; интероперабилности софтверских решења итд., фактори који моделирају успех у имплементацији се чешће везују за њен пословни аспект. Због чега многе студије примат дају управо питању организационих промена [117, 388] док се алати и технике управљања процесима променама сматрају најважнијим факторима успешне имплементације овог концепта.

Имплементација PLM-а у својој основи мора бити конципирана као процес пословне трансформације, који се одвија у синергији са успостављањем одговарајућег технолошког концепта. Што је комплементарно са идејом тзв. пословног/ИТ усаглашавања (енг. *Business/IT alignment*) према којој је за успешно увођење технологија у праксу пословања, кључно њихово усаглашавање са пословањем. Темеље овог концепта поставили су још *Henderson* и *Venkatraman* [180] у свом моделу стратешког усаглашавања, према коме је за успешну инкорпорацију нових информационих технологија у пословање неопходно постићи усаглашеност између стратегије пословања, ИТ стратегије, процеса, организационе структуре и ИТ инфраструктуре. Потврђујући ову тезу многе студије наглашавају да је постизање пословне вредности имплементираних PLM технологија могуће искључиво под претпоставком да је њихово увођење праћено усаглашавањем у другим релевантним димензијама као што су организација, процеси, стратегија, људи и организациона култура, менаџмент и контрола, структура података итд. [157, 193, 404].

Сходно општој тенденцији да се проблем имплементације посматра у контексту више специфичних перспектива *Terzi* и др. [409] идентификују 1) организационо оријентисану перспективу имплементације која се бави питањем PLM процеса и редизајна односа успостављених између ресурса које ангажују; 2) информационо оријентисану перспективу која се своди на проблем интеграције изолованих информационих силоса; 3) инфраструктурну перспективу која укључује дизајн и управљање информационом

²⁷ *Soto-Acosta* и др. (2016)

²⁸ *Jacob* и *Erasmus* (2015)

инфраструктуром, инфраструктуром производа и ресурса ангажованих током животног циклуса производа.

Venghaus и *Stark* [424] проблем имплементације PLM-а посматрају кроз концепт адаптације, указујући на проблем хетерогености процеса и ИТ архитектуре предузећа, потребе за високо флексибилним решењима, са друге стране ниску способност интеграције PLM решења са хетерогеним системима, њихову комплексност али и недостатак функционалних способности за покривање широког корпуса пракси које организације спроводе, наглашавају висок утицај PLM адаптације на успех у имплементацији. У том контексту дефинишу три појавна облика ове адаптације 1) организациону адаптацију која се концептуализује као управљање променама, 2) PLM усвајање односно прилагођавање технологија људима и 3) технолошку адаптацију која обухвата сваку промену и индивидуализацију у контексту PLM технологија, како би се ускладиле са захтевима специфичним за организацију.

Проблем имплементације PLM-а се не своди искључиво на моделе увођења PLM технологија, наиме исход имплементације је детерминисан начином на који је конституисан процес прилагођавања новим технологијама, што пре свега зависи од начина на који људи у организацији усвајају и користе технологије. Према постојећим теоријама прилагођавања новим технологијама овај процес није детерминистички, имајући у виду да ће постојати одређена флексибилност у њеној интерпретацији, те да учествујући у развоју и употреби технологије корисници заправо учествују у њеном конституисању, што је са друге стране уско повезано са историјским и културним аспектима њеног развоја. Имајући у виду наведено, *Ho* и др. [183] констатују да ће PLM системи бити уграђени у специфичне организационе и групне контексте, који одређују начин на који ће се ови системи интернализovati. Са друге стране, *Singh* и *Misra* [378] указују да је институционализација технологија саставни део њихове асимилације у пословну праксу.

Поистовећујући имплементацију PLM-а са својеврсном организационом иновацијом *Singh* и *Misra* [378] преузимају *Levine*-ов [248] модел иновационог процеса и сходно томе дефинишу имплементацију PLM-а као процес који укључује препознавање потребе за PLM-ом, структурирање PLM решења, његову имплементацију и на крају институционализацију. У истом маниру *Maheshwari* и др. [265] уводе институционализацију као додатну фазу у процесу имплементације пословних информационих система, која се одвија као континуирани процес прилагођавања који укључује развој организационе подршке, норми и стеченог знања. *Singh* и *Misra* [378] указују на комплементарни ефекат имплементације PLM технолошког решења и институционализације PLM-а на постизање његовог укупног пословног потенцијала, наглашавајући снажан утицај личних ставова крајњих корисника према технологијама. Према *Ameri* и *Dutta* [12] имплементација PLM-а подразумева изградњу специфичне организационе културе, стварајући претпоставку за његову успешну институционализацију. На овај начин се наглашава значај постпројектне фазе и њеног утицаја на дугорочну одрживост пројекта имплементације PLM-а са општим циљем да побољшања генерисана увођењем PLM-а прерасту у одрживу пословну вредност.

Један од карактеристичних приступа у тумачењу овог проблема, посматра имплементацију PLM-а као развој сета организационих компетенција, према *Silventoinen* и др. [376] интеграција људи, процеса и информација, која је у основи имплементације PLM-а захтева компетенције за ефективну размену информација, сарадњу, управљање мрежом и координацију. Типичне димензије развоја PLM компетенција према ауторима укључују стратегију, праћење и контролу, организацију и процесе, људе и културу и техничке компетенције [29, 193, 218, 376].

У оперативном смислу, имплементација PLM-а се најчешће конципира као еволутивни развој специфичних организационих компетенција за доследну примену овог приступа, што

је комплементарно са идејом тзв. PLM сазревања, према којој предузеће мора да прође карактеристичне фазе раста прилагођавајући се PLM пословном и технолошком концепту. Према *Arnold* и др. [15] овај процес се мора поставити као континуирани задатак ППС-а, имајући у виду да сталне промене у пословним околностима, структурне промене у организацији или процесима, коришћеним технологијама или програмској оријентацији предузећа утичу на промене у PLM циљевима.

Важну улогу у пројектовању еволутивног пута у континуираном унапређењу способности организације за доследну примену PLM праксе и принципа имају тзв. модели PLM зрелости. Ови модели пројектују више карактеристичних фаза раста и пружају конзистентну методологију за процену усаглашености предузећа са референтном праксом у свим релевантним аспектима имплементације, применом специјализованих алата заснованих на принципима самопроцене, указујући на кључна подручја и потенцијалне мере оптимизације у циљу смањења јаза између постојећег стања и претпостављене најбоље праксе у примени PLM концепта. Имајући у виду да модели PLM зрелости представљају важан алат у имплементацији PLM приступа, овај концепт је детаљније представљен у оквиру потпоглавља 3.3.

Општа тенденција да се имплементација PLM-а стави у одређене концептуалне оквире како би се одвијала на што ефикаснији и координисан начин, води ка дефинисању структурираних процеса имплементације, који илуструју прогрес имплементације кроз специфичне кораке. Рецимо, модел који дефинишу *Garetti* и др. [147] предвиђа три фазе у имплементацији PLM-а, укључујући иницијални, нулти корак усмерен на превазилажење изазова ограниченог разумевања PLM-а. Модел је концептуално уопштен и пружа подршку у имплементацији на концептуалном нивоу.

„0 - Одредити јасну дефиницију и опсег PLM-а (иницијални корак), укључујући разумевање концепта и практичних импликација PLM-а.

1 - Одредити методе за стратешку анализу пројеката PLM имплементације, укључујући анализу импликација на перформансе пословних процеса.

2 - Обезбедити методологију за постизање усаглашености са PLM принципима - дефинисати оптималну стратегију и план имплементације.

3 - Обезбедити методолошки оквир за контролу PLM-а - успостављање скупа методологија који ће се користити за контролу примене PLM-а.“²⁹

Stark [392] наглашава да не постоји универзални модел према коме се покреће и спроводи PLM иницијатива и да ће свако предузеће индивидуално конципирати свој пут у имплементацији PLM-а, међутим могуће је идентификовати неке типичне кораке:

- „Покретање иницијативе;
- Спровођење студије изводљивости;
- Разумевање тренутне ситуације;
- Консолидовање циљева имплементације;
- Развој PLM визије;
- Развој PLM стратегије;
- Развој стратегије имплементације;
- Развој плана имплементације.“³⁰

Ослањајући се на описе процеса имплементације доступне у различитим библиографским изворима, *Koomen* [234] покушава да идентификује генеричку структуру процеса имплементације (слика 17). Већина доступних модела јасно идентификује четири генеричке фазе у имплементацији PLM-а: 1) припрема и дефинисање; 2) анализа и мерење; 3) дизајн;

²⁹ *Garetti* и др. (2007)

³⁰ *Stark* (2015)

4) имплементација и одржавање. Међутим ова структура је изведена на основу крајње субјективних тумачења доприноса различитих истраживања, уз неоспорне варијације у рецензираним моделима.

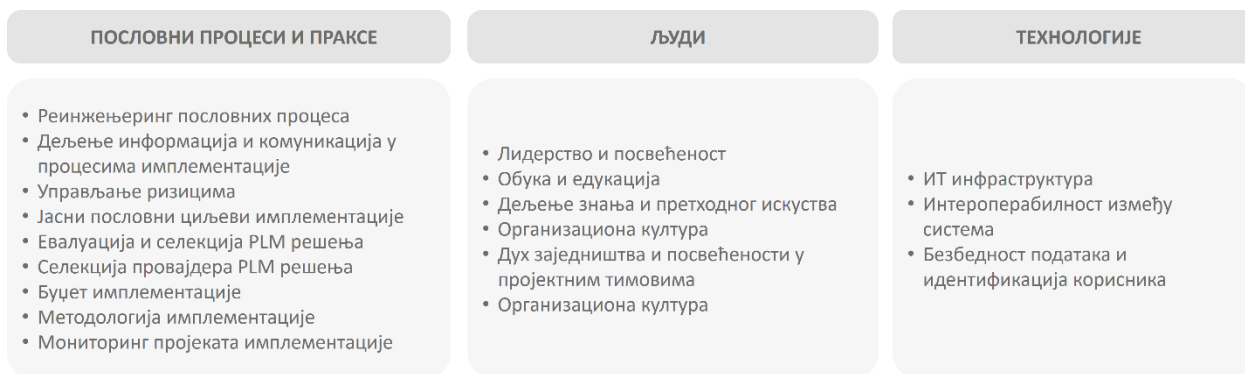


Слика 17. Генеричка структура процеса имплементације PLM-а: систематизација резултата истраживања [234]

Упркос тенденцији да се имплементација PLM-а стави у одређене концептуалне оквире, на постоји стандардна стратегија имплементације, уместо тога предузећа приступају овом процесу у складу са пословним околностима. Конституисањем стратегије имплементације, предузећа ближе одређују начин за постизање PLM циљева, „како ће се организовати и користити доступни ресурси и компетенције, утврђују политике које регулишу управљање и коришћење ресурса.“³¹ Имајући у виду да PLM мора одражавати природу процеса и информационих структура и токова, укључујући специфичне пословне околности предузећа, према *Marra* и др. [273] варијације у самом оперативном моделу имплементације су неминовне, стога свако предузеће развија концепцију имплементације узимајући у обзир контекстуалне околности, техничка ограничења и друге претпоставке.

3.1 Кључни фактори успеха у имплементацији PLM-а

Бавећи се проблемом имплементације PLM-а, литература идентификује кључне факторе који моделирају успех у имплементацији PLM приступа, идентификовани скуп фактора одражава комплексност питања имплементације PLM-а, указујући уједно на кључне области управљања овим процесима. Ослањајући се претходна истраживања у овој области, *Singh* и др. [379] сумирају и представљају седамнаест кључних варијабли успешне имплементације (слика 18), водећи се категоризацијом кључних аспеката имплементације коју дефинише *Grieves* [162], аутори систематизују ове факторе везујући их за пословне процесе и праксе, људе и технологије.



Слика 18. Фактори успеха у имплементацији PLM-а [379]

³¹ *Stark* (2015)

О сличним налазима извештавају и друге студије, при чему се сугерише да је један од кључних фактора успеха PLM иницијатива начин размишљања и ставови запослених укључених у PLM процесе, као што је спремност на сарадњу, мотивисаност за промене и поверење али и разумевање PLM концепта и његових практичних импликација итд. [16, 385]. Ово је посебно наглашено чињеницом да имплементација PLM приступа подразумева многе промене у контексту организационе културе [377], чији су кључни носиоци људи. У прилог овоме *Ameri* и *Dutta* [12] указују да имплементација PLM-а заправо почиње усвајањем PLM визије од стране запослених, док *Immonen* и *Saaksvuori* [193] наглашавају да се очекивана пословна вредност нових технологија или процеса остварује искључиво уколико је код људи у организацији развијена свест о значају промена, те да укључивање запослених у процесе планирања и изградње PLM система у раним фазама имплементације смањује ризик од отпора према променама.

Jacob и *Erasmus* [196] наглашавају да је, с обзиром на обим и комплексност промена које укључује, од кључне важности да су циљеви и очекивања правилно одређени и документовани, те да се имплементацијом формално управља. Према *Batenburg* и др. [29] успех у имплементацији зависи од способности предузећа да дефинише захтеве, ефикасно планира процес имплементације и утиче на ставове крајњих корисника. Како би се савладала инхерентна сложеност и ограничио ризик од неуспеха, од посебне важности је следити структуриран процес и конзистентне методологије имплементације. Фактори управљања пројектима имплементације су додатно наглашени у појединим студијама, ово укључује и питање усклађивања пројекта имплементације са PLM стратегијом [39], одговарајућег управљања ризицима везаним за податке, технологије и процесе [379]. *Singh* и др. [377] овоме додају и важност мониторинга пројекта и дефинисања објективних индикатора и структурираних приступа за систематско праћење успеха имплементације. *Holler* и др. [186] и *Fani* и др. [138] наглашавају важност одабира одговарајућих приступа управљању за суочавање са динамичном природом пројекта имплементације.

У контексту техничких предуслова за успешну имплементацију PLM-а наглашава се значај интероперабилности и интеграције информација и система у PLM окружењу [377], успостављање кохерентне PLM архитектуре [39] уз изградњу одговарајуће ИТ инфраструктуре [378]. Као једна од основних претпоставки у овом контексту наводи се и правилна миграција, форматирање, брисање застарелих и редундантних података [378].

Избор одговарајућег софтверског решења за успостављање технолошког концепта својственог PLM-у се такође истиче као једно од кључних питања у имплементацији овог приступа [133, 308, 431], при чему се истичу два фактора, исправна спецификација захтева и примена конзистентних методологија способних да одговоре на сложену и неструктурирану природу проблема одлучивања при избору решења. Додатни фактори који утичу на ефикасност имплементације PLM-а укључују подршку спољних консултаната и трансфер знања, посебно се наглашава улога провајдера PLM софтверских решења и њихово укључивање у раним фазама имплементације, сугерише се и важност усаглашавања различитих перспектива и семантика између крајњих корисника као пословно и функционално оријентисаних учесника имплементације и PLM провајдера усмерених на структуралне и техничке проблеме.

3.2 Изазови у усвајању PLM концепта

Изазови у имплементацији PLM-а се најчешће везују за занемаривање спремности пословног система за увођење PLM технологија, ово се пре свега односи на проблеме нестандардизованих и недовољно формално дефинисаних процеса [388] али и проблем неструктурираних информационих токова [322], лоше специфицираних структура производа, недовољно способних да подрже PLM и неструктурираног управљања знањем

[365]. Док *Hewett* [181] указује на проблеме недовољне укључености инжењера производа, недовољне зрелости инжењерских процеса и технолошке сложености PLM-a. Проблеми у имплементацији PLM-a и његовој институционализацији се често везују и за људски фактор, укључујући отклон запослених према променама, неефикасне процесе учења о PLM-у, док се улога и утицај запослених у PLM иницијативама често занемарује.

Према *Koomen* [234] то су пре свега проблеми неодређених циљева имплементације и недостатак стратешког планирања, што се најчешће везује за проблеме сложености и недовољног разумевања PLM-a. Наиме, PLM се у пракси често посматра искључиво као проблем управљања информацијама, не и као стратешки пословни приступ који захтева интегрисани приступ и корпоративну визију, због чега PLM иницијатива често обухвата само изоловане аспекте имплементације, без неопходног холистичког приступа. Из перспективе менаџмента, PLM се обично посматра као решење за аутоматизацију појединих пословних функција, не и као комплетно пословно решење, стога се одговорност за имплементацију преноси на ниво одељења, без PLM визије на корпоративном нивоу.

Поред тога, одговорност за дефинисање стратегије имплементације се у пракси често преноси на провајдере PLM софтверских решења, махом због исувише обећавајућих пропагандних порука ИТ компанија, међутим недовољно разумевање организационог контекста ограничава могућност прилагођавања и примене решења у складу са потребама корисника, укључујући и проблем мапирања латентних потреба корисника. *Plo* и др. [323] овоме додају и чињеницу да се перспективе и семантика актера имплементације често разликују, док су корисници пословно и функционално оријентисани, PLM провајдери су усмерени на структуралне и техничке проблеме што резултира тешкоћама у валидацији спецификације решења. Ово може бити и последица неодговарајућег мапирања и анализе тренутних процеса, са друге стране превелики фокус на процесе води ка претераном прилагођавању PLM решења, индукујући високе трошкове имплементације, ризике од грешака и нескалабилности решења. Према *Bruno* и др. [54], кључни проблем у усвајању PLM-a је недостатак модела који би представили животни циклус производа специфичан за предузеће и подржали успостављање и одржавање кохерентне структуре за представљање и повезивање различитих делова информација, као последица чега се губи део знања, док се информацијама и даље управља фрагментирано.

Како *Eigner* [129] наглашава, PLM решења су у пракси и даље прилично далеко од амбициозне визије промовисане кроз академске дефиниције и пропагандне поруке ИТ компанија, ово се пре свега односи на недовољну функционалну зрелост у појединим областима, што ствара потребу за усвајањем делимичних решења других провајдера, услед проблема слабе интероперабилности, некомпатибилних модела података и интерфејса, ово доводи до паралелних и фрагментираних решења, стварајући изоловане силосе информација. Поред тога, већина PLM провајдера и даље није у стању да пружи решења довољно конфигурабилна да би у потпуности одговорила на хетерогеност захтева пословних система у пракси, што условљава потребу за опсежним прилагођавањима и функционалним проширењима имплементираних решења, индукујући високе трошкове имплементације.

3.3 Концепт и модели PLM зрелости (*PLM maturity*)

Према концепту PLM зрелости имплементација PLM-a се види као континуирани процес сазревања организационих компетенција за доследну примену PLM-a, при чему *Mettler* [282] дефинише концепт сазревања као „еволутивни напредак у демонстрирању специфичне способности за доследну примену PLM-a“. Модели зрелости се сматрају неком врстом путоказа за спровођење одређене праксе у пословању од почетног до жељеног стања или уобичајене крајње фазе имплементације. Према *Kärkkäinen* и др. [217] њихова улога је

да пружи помоћ у континуираном унапређивању способности организације у примени одређене праксе или одређеним областима управљања. Идеја сазревања је представљена пројектовањем више фаза раста кроз које предузећа обично пролазе док се прилагођавају новим пословним или технолошким концептима, парадигмама, праксама управљања или методама рада. Фазе зрелости би се могле разумети као „организациони раст, учење и развој који се јављају како се нове методе примењују.“³²

Основна идеја модела зрелости је да предузећа могу извршити самопроцену сопственог статуса еволутивног напретка у усвајању неког пословног или технолошког концепта и дефинисати еволутивни пут до постизања нивоа зрелости који се посматра као референтни. У суштини, процена PLM зрелости, пружа подлогу за развој плана изградње специфичних компетенција у домену процеса, технологија, организационе културе итд. у циљу смањења јаза између постојећег стања и најбоље праксе у примени PLM концепта. Према *Batenburg* и др. [29] оквир за дефинисање еволуционог пута применом модела PLM зрелости укључује следеће кораке: 1) процена тренутног нивоа зрелости; 2) дефинисање референтне зрелости; 3) одређивање жељене PLM зрелости и усклађености; 4) идентификовање ставки које треба побољшати и 5) дефинисање еволутивног пута до референтне PLM зрелости.“

Модел PLM зрелости помажу предузећима да на основу тренутног развојног статуса организације у домену PLM праксе и технологија успоставе сопствене стратегије имплементације, пружајући им смернице за специфичне активности побољшања у релевантним областима. Међутим, према *Arnold* и др. [15] модели PLM зрелости нису референтни модели за исправну употребу PLM-а, нити могу омогућити апсолутну процену организације, попут модела зрелости у другим областима.

Литература познаје више модела за процену PLM зрелости специфичних домена и перспектива, при чему се већина ових модела заснива на концепту *Capability Maturity Model* (CMM) и углавном их карактеришу три кључна елемента:

- димензије процене као кључне области PLM компетенција (организација и процеси, ИТ системи, људи, технике и праксе, стратегија и политике) при чему постоје значајне дисперзије по питању структуре и броја ових димензија;
- нивои зрелости који се могу мерити за сваку од димензија процене, нивои у суштини представљају фазу еволутивног напретка у постизању жељеног стања и
- дескриптори или генерички описи карактеристика сваког од нивоа зрелости који ближе одређују претпостављани статус напретка.

Batenburg и др. [29] предлажу CMM оквир процене који комбинује концепт зрелости и пословне/ИТ усаглашености (енг. *Business/IT alignment*). Наиме модел омогућава процену PLM зрелости и пружа смернице за развој оптималне PLM стратегије следећи оквир стратешког усклађивања између PLM технологија и пословања. *Immonen* и *Saaksvuori* [193] дају CMM модел зрелости у комбинацији са COBIT стандардом који комбинује више аспеката у једну, општу димензију – организациону димензију, укључујући процесе, структуре, ИТ системе, PLM стратегију и људски фактор у PLM променама. *Kärkkäinen* и др. [218] се ослањају на *Batenburg* и др. [29] модел додајући оријентацију на купце као нову димензију PLM зрелости, овим се наглашава да би се у усвајању PLM-а пре требало усредсредити на интеграцију купаца и управљање знањем купаца уместо искључиво на традиционалне информације о купцима. *Zhang* и др. [481] дају можда и најобухватнији модел, који се заснива на тзв. TIFOS концепту, према коме се PLM може посматрати кроз пет кључних димензија са поткатегоријама *TechnoWare*, *InfoWare*, *FunctionWare*, *OrgaWare* и *SustainWare*. Категорија *FunctionWare* рецимо укључује поткатегорије као што су

³² *Immonen* и *Saaksvuori* (2013)

PLM/PDM софтвери и хардвер, управљање конфигурацијама, визуализација итд., док се *InfoWare* димензија односи на обраду информација везаних за производе итд.

Tata Technologies [404] на бази искустава у области PLM консалтинга развија модел са три генеричке димензије PLM имплементације (диференциране на укупно деветнаест поткатегорија), укључујући:

- **Технолошку (ИТ) димензију** осликава ниво развијености информатичке инфраструктуре и ИТ решења за подршку PLM стратегији, у погледу доследности коришћених алата, начина одржавања података, интеграције алата и информација.
- **Организациону димензију** која се односи на погодност организационе структуре, професионалне компетенције и операбилност предузећа за примену PLM стратегије.
- **Димензију процеса** осликава начин на који су конципирани процеси који подржавају PLM, укључујући комуникацију, контролу промена, сарадњу унутар и изван организације.

Посматрајући ове димензије као специфичне аспекте имплементације који подразумевају потпуно различите фазе раста за сваку од њих се дефинишу засебни нивои зрелости, за разлику од осталих модела код којих се усвајају генерички описи који обједињују све разматране димензије.

Последњих година појављују се модели за процену PLM зрелости кроз перспективу Индустрије 4.0, тако рецимо *Sassanelli* и др. [362] предлажу систематски и интегрисани модел за дводимензионалну процену, укључујући ниво дигиталне и *Lean* зрелости, чији је циљ дефинисање путоказа за PLM пројекте у компанијама које су оријентисане ка дигитализацији пословања. Приказ кључних елемената (пословних димензија, нивоа зрелости и припадајућих дескриптора) за најзаступљеније моделе PLM зрелости дат је у табели 3.

3.4 Постојећа подршка у домену имплементације PLM-а

Наставак поглавља даје преглед најзначајнијих резултата у кључним подручјима истраживања у области имплементације PLM приступа. Водећи се кључним проблемима у усвајању и институционализацији PLM приступа, истраживања у овој области су имала за циљ да допринесу успостављању структурираних, методолошких приступа имплементацији и бржем сазревању у примени PLM-а, у том контексту могуће је идентификовати неколико карактеристичних подручја истраживања:

- Допринос темељном разумевању PLM-а, као основе за дефинисање циљева имплементације;
- Идентификовање свих релевантних аспеката имплементације за успостављање холистичког приступа – кључне димензије развоја PLM компетенција;
- Развој референтних методолошких приступа/модела/оквира за подршку имплементацији PLM-а;
- Развој и анализа модела PLM зрелости;
- Евиденција емпиријских искустава и идентификовање позитивне праксе у имплементацији PLM-а.

Један од кључних изазова у имплементацији PLM приступа се односи на недовољно разумевање овог концепта, иако је као пословни приступ и технолошки концепт присутан релативно дуго, још увек не постоји јединствена перспектива о томе шта PLM заиста представља. Збуњују и описи које дају провајдери PLM технологија промовишући своја решења под акронимом PLM иако она својим функционалним доменом често не покривају у потпуности дефиницију овог концепта. У пракси, ово ствара одређене конфузије, које узрокују потешкоће у сагледавању стварног потенцијала његове примене, дефинисању PLM

стратегије и њеног опсега, конкретних и мерљивих циљева имплементације итд. Као допринос дубљем разумевању PLM-а као технолошког концепта и пословног приступа, литература бележи бројне покушаје да се PLM објасни и формално дефинише, у настојању да пружи конзистентну основу за његову имплементацију. Тако, рецимо, *Vieira* и др. [431] пружају холистичку дефиницију која разјашњава кључне аспекте PLM-а, укључујући стратегију, методологије, ИТ решења и уједно служи као подлога за развој PLM визије.

Са сличном намером, *Schuh* и др. [365] специфицирају елементе потребне за затварање информационе петље животног циклуса, пружајући конзистентну основу за дефинисање опсега и циљева имплементације. Док *Plo* и др. [323], предлажу приступ имплементацији утемељен на разумевању PLM филозофије, при чему је циљ подржати предузећа у дефинисању елемената који се морају моделирати, еволуирати и имплементирати у PLM технолошко решење, како би примена PLM приступа била ефикаснија. Наводећи да је један од проблема са којима се предузећа суочавају у имплементацији PLM-а одржавање кохерентне структуре за представљање и повезивање различитих делова информација и недостатак модела који би представили животно циклус производа, *Bruno* и др. [54] развијају референтну онтологију животног циклуса производа, како би пружили подршку предузећима у настојању да структурирају своје знање о производима и концептуално дефинишу PLM.

Важан допринос истраживању у области имплементације PLM-а пружиле су студије усмерене на идентификовање специфичних димензија холистичког PLM концепта, посматрајући ове димензије као аспекте имплементације или кључне димензије развоја PLM компетенција, међу којима се најчешће помињу организација, процеси и технологије [185, 404], листи стандардних PLM димензија *Immonen* и *Saaksvuori* [193] додају и људе. *Silventoinen* и др. [376] такође наглашавају улогу људског фактора и организационе културе у контексту ефикасне имплементације PLM приступа. *Batenburg* и др. [29] ове димензије систематизују као: стратегија и политика, надзор и контрола, организација и процеси, људи и култура и информационе технологије, док *Kärkkäinen* и др. [218] овим димензијама додају и фокусираност на купце. *Golovatchev* и *Budde* [157] са друге стране, дефинишу основне градивне блокове холистичког PLM-а, дедукцијом из општих димензија интегрисаног менаџмента, ови блокови укључују стратегију, процесе, структуру производа и PLM ИТ архитектуру. У намери да идентификује све релевантне аспекте управљања животним циклусом производа, *Stark* [392] развија концептуални оквир PLM-а, према коме његов опсег обухвата компоненте: организација, технологије, методе, људи, процеси, подаци/информације/знање итд., наглашавајући да имплементација PLM-а укључује промене у свим наведеним компонентама.

Значајни истраживачки напори су остварени и у домену развоја различитих методолошких приступа/модела/оквира имплементације [15, 138, 365, 428], које предузећа могу следити као референтне при успостављању PLM приступа (детаљније о овим моделима дато је у потпоглављу 3.5). Већина постојећих модела у овој области дефинише концептуални оквир имплементације PLM-а, са мање или више разрађеним оперативним моделом, при чему су најчешће подржани описом генеричког процеса имплементације који илуструје њен прогрес кроз неколико специфичних корака. Примера ради, анализирајући постојећу праксу у индустрији, *Holler* и др. [186] илуструје прогрес имплементације PLM-а, конципиране као пројекат увођења информационих система кроз три генеричке фазе:

- Фаза 1: Анализа тренутних процеса и информационих система; развој основног концепта и анализа трошкова и користи;
- Фаза 2: Дизајн циљаног концепта са детаљним захтевима и његова евалуација;
- Фаза 3: Имплементација и увођење система у употребу.

Табела 3. Преглед модела PLM зрелости

Модел	Димензије процене	Нивои PLM зрелости и припадајући дескриптори											
Batenburg и др. [29]	Стратегија и политике Надзор и контрола Организација и процеси Људи и култура Информационе технологије	Ad hoc ниво	Ниво департмана		Ниво организације	Интер-организациони ниво							
		- Не постоји одговорност за PLM, PLM визија, нити конзистентни PLM процеси и системи - Информације су раштркане по целој организацији	- PLM се посматра као проблемом управљања информацијама - Све информације о раним фазама производа чувају у централном систему		- PLM се тумачи као пословни проблем који захтева корпоративну визију и интегрални приступ - Имплементирани су PLM системи интегрисани са другим системима	- PLM се види као пословни проблем који обухвата читав ланац вредности - PLM процеси су дефинисани тако да прелазе организационе границе							
Immonen и Saaksvuori [193]	Процеси Структуре ИТ системи PLM стратегија Људи у управљању променама	Неструктуриран	Поновљив али интуитиван	Дефинисан	Управљан и мерљив	Оптималан							
		- Важност PLM-а је препозната - Не постоје дефинисани стандарди и концепти који се тичу управљања животним циклусом производа	- Процеси функционишу на <i>ad hoc</i> бази - Не постоји формални развој, дефинисање или интеграција стандардних процеса - Све је препуштено одговорности појединца	- Процеси и основни концепти су стандардизовани, дефинисани, документовани и саопштени кроз приручнике и обуку. - Не постоји <i>end-to-end</i> PLM процес који подржава ИТ системе, ИТ системи подржавају само делове процеса - PLM процеси су формализовани али нису једобразни	- Постоји снажна ИТ подршка PLM процесима - Усклађеност процеса је мерљива што омогућава отклањање проблема у функционисању - Процеси и концепти се стално развијају ка најбољој пракси	- Процеси и концепти су постигли ниво најбоље праксе - Сви процеси животног циклуса производа су аутоматизовани - Информационе технологије се користе на интегрисан начин.							
Kärkkäinen и др. [218]	Стратегија и политика Управљање и контрола Организација и процеси Људи и култура Информациони системи Фокусираност на купце	Хаотични	Савесни	Управљани	Напредни	Интеграциони							
		- Ниво координације је низак - ИТ алати не подржавају систематску сарадњу у вези са знањима и информацијама	- Координација је на функционалном нивоу - Потреба за формализованим процесима је препозната - Процеси и комуникација су подржани изолованим ИТ алатима.	- Координације је на крос-функционалном нивоу - Формални процеси, структуре и алати су описани и успостављени - Користе се ИТ алати за комуникацију и сарадњу широм организације	- Координације је на међуорганизацијском нивоу - За планирање и праћење процеса се користи систематско управљање и мерење перформанси - Користе си напредни ИТ алати за комуникацију и сарадњу широм орг.	- Ниво координације је опсежан - Пословна култура је оријентисана на купца и будућност, заснива се на сталном унапређењу, флексибилности, само-оптимизацији, и развијеним инф. мрежама са купцима и другим важним актерима							
Savino и др. [364]	Људи; Технологије PLM апликације; PDM Производ Технике и праксе Организациона интероперабилност Организација Подаци о производу Процеси; Финансијски менаџмент	Најнижи	Низак	Средњи	Висок	Врхунски							
		- Успех зависи од појединаца - Постоји празнина у заједничкој визији око одговорности управе <i>Дат је пример за димензију „Људи“</i>	- Успех зависи од појединаца и подршке система управљања - Људи су обучени - Обавезе се разумеју и њима се управља	- Пројектне групе раде као интегрисани тим - Присутно је планирање радне снаге, развој компетенција, усклађивање перформанси, анализа знања и вештина и култура партиципације	- У сваком пројекту постоји снажан осећај тимског рада - Примењује се тимски заснована пракса управљања организационим компетенцијама	- Постоји снажан осећај за тимски рад у целој организацији - Сви су укључени у процес унапређења							
Zhang и др. [481]	Технике и праксе PLM софтвер и апликације Стратегија и надзор Управљање квалитетом Управљање одржавањем BOM менаџмент; PDM Финансијско управљање Људи Управљање сарадњом Управљање радним током	Ad hoc	Управљан	Дефинисан	Квантитативно управљан	Оптимизиран							
		- Активности се извршавају експедитивно - Не постоји одговорност за PLM - Документација је најнижа тачка за задовољење оперативних потреба - PLM системи и процеси имају недостатке	- Активности су дефинисане, репетативне и њима се управља - Документација се пажљиво проучава - Заједничке акције су завршене у процесима и одељењима - PLM системи су укључени и користе се на одговарајућим местима	- Активности су формализоване и подржане стандардима - Документација и записи се проучавају и деле - Личне акције и међусобни поступци се спроводе ефикасно - PLM системи се лако имплементирају - Јавља се еколошка свест	- Активности се одвијају без проблема - PLM системи сарађују са осталим системима предузећа - Производи функционишу ефикасно и ефективно - Грешке и кварови се постепено елиминишу	- Активности се одвијају оптимално - PLM системи помажу предузећу да донесе боље одлуке - Разматрају се најбоље праксе и иновативне идеје							
Stark [392]	Предузеће Развој нових производа PDM	Традиционалан	Архипелаг PLM острва		PLM на прелазу границе	Проширено предузеће	Широко и дубоко предузеће						
		- Вредност информација о производима се не схвата - Не користе се PDM системи - Развој нових производа се не разматра као процес - Не користе се праксе и технике PLM-а - Не постоји опис производа и токова рада, ни управљање конфигурацијама	- Постоји свест о значају развоја производа али се не користе савремене праксе - Користе се CAD системи - Управљање захтевима за производ је лоше - Управљање информацијама је од малог приоритета		- Постоји свест о тренутном статусу - Успостављени су мултифункционални тимови - Процес развоја производа је јасно дефинисан - Користе се PDM системи	- Успостављени су крос-функционални тимови - PLM стратегија је дефинисана - Купци и добављачи су укључени у развој производа - Користи се већина функционалности PLM и PDM система	- PLM концепт се разуме и посматра као конкурентска предност - Постоји PLM визија, стратегија, план и показатељи - PLM стратегија је усклађена са корпоративном - Постоји проширен модел података						
Tata Technologies [404]	Процеси	Ad hoc		Поновљив		Карактеристичан		Мерљив		Оптимизован			
	Организација	Незрео				Сазревајући				Зрео			
	Технологије	Базичан				Средњи				Напредан			
		Свака од димензија је подељена на укупно 19 поткатегорија (визија и стратегија, управљање тимовима, улоге и одговорности, агилност процеса, колаборација и визуелизација, управљање захтевима, управљање процесима и радним токовима, апликације/софтверски алати, сервис за интеграцију итд.).											

Са друге стране, *Jacob* и *Erasmus* [196] предлажу конзистентну стратегију имплементације PLM-а, комбинујући приступе које у својим студијама предлажу *Stark* [392] и *Garetti* и др. [148], сходно томе дефинишу процес имплементације који укључује кораке:

- „Дефинисање захтева, евалуација и избор софтверског пакета;
- Одабир заједничких модула за управљање информацијама о производу и минималних модула који ће представљати добру полазну тачку;
- Развој новог пословног модела, заснованог на циљевима предузећа;
- Развој пословних процеса неопходних за реализацију новог пословног модела;
- Спровођење обуке о новим процесима и софтверским алатима;
- Усвајање, стандардизација и имплементација развијених процеса;
- Прилагођавање основних процеса и одређивање утицаја могућих захтева за конфигурисање и прилагођавање за инжењерске софтвере.“³³

Већина доступних модела имплементације PLM-а се темељи на процесно оријентисаној парадигми, у основи овог приступа лежи темељна анализа и прилагођавање постојећих процеса у складу са PLM циљевима организације. У том контексту, идентификовање, формално записивање и документовање знања о процесима на начин који олакшава њихово разумевање и оптимизацију се сматра основом имплементације PLM-а. У прилог томе, *d'Avolio* и др. [100] истичу да се веза између људи/процеса/информација и PLM-а најлакше може специфицирати и разумети моделирањем пословних процеса. Модели помажу да се опишу процеси које PLM технолошко решење треба да подржи и специфицирају структуре података којима треба управљати, према *Arnold* и др. [15] исправно мапирани пословни процеси чине комуникациону основу процеса имплементације. *Schuh* и др. [365] сугеришу да се подаци о производима генеришу у контексту процеса, због чега се процеси сматрају језгром PLM окружења, а моделирање процеса парадигматском основом оквира за имплементацију PLM-а.

Међу представницима процесно оријентисаних приступа у имплементацији PLM-а је модел који су развили *Schuh* и др. [365], заснован на развоју сета адаптивних референтних модела за кључне PLM процесе, такође *Jacob* и *Erasmus* [196] предлажу стратегију имплементације у чијој основи је дизајнирање новог пословног модела и развој и имплементација процеса неопходних за његову реализацију. *Fani* и др. [138] и *Vezzetti* и др. [428] користе формално документовање и анализу пословних процеса као основу за формализовање латентних потреба корисника.

Значајно подручје истраживања у домену имплементације PLM-а је концепт PLM зрелости. По угледу на различите моделе који имају за циљ мерење зрелости предузећа са фокусом на специфичне теме везане за индустрију, развијено је више модела PLM зрелости [193, 218, 362, 364, 392, 404]. Ови модели пружају методологију за процену тренутног нивоа усаглашености са најбољом праксом у примени PLM-а, укључујући процене у свим релевантним областима PLM компетенција. „Модели зрелости пројектују специфичне фазе раста за класу објеката (организације, процеси итд.), при чему су карактеристике ових фаза препознатљиве и емпиријски проверљиве и најчешће указују шта узрокује да организација напредује у наредну фазу по сваком од разматраних аспеката.“³⁴ Њихова примена омогућава да се имплементација PLM-а одвија као контролисан процес усаглашен са PLM циљевима. Овакви модели приказују претпостављени еволуциони пут у континуираном унапређењу способности организације за доследну примену PLM приступа. Истраживања у овој области се најчешће везују за развој модела зрелости, пружају детаљне концептуализације и разрађују научно засноване методолошке приступе мерењу зрелости,

³³ *Jacob* и *Erasmus* (2015)

³⁴ *Tafvizi Zavareh* и *Eigner* (2021)

важно подручје истраживања се односи и на емпиријске студије усмерене на валидацију предложених модела, њихову примену у специфичним доменима или преношење базичних концепата у друге контексте.

У циљу евиденције емпиријских искустава и идентификовања позитивне праксе у имплементацији PLM-а у различитим индустријским секторима, реализовано је више студија случаја. Ове студије имају за циљ идентификовање оперативних алата примењиваних у пракси који могу подржати имплементацију PLM-а. Тако рецимо, *Corallo* и др. [93] дају опис PLM оквира развијеног у енергетској компанији који представља PLM као интегрисани оквир у коме су информације, процеси и ИТ системи повезани и коегзистирају. Структура предложеног оквира укључује четири синергична блока:

- Блок А: PLM дефиниција и основа (производи предузећа; структура производа);
- Блок В: PLM фазе и процеси (синтеза животног циклуса производа; фазе животног циклуса производа; процеси и активности за одређену фазу итд.);
- Блок С: *Configuration Management* погледи (скупови конфигурација);
- Блок D: PLM ИТ архитектура (ИТ системи, доступни модули, интеграције итд.).

У оквиру прва два блока ИТ системи делују као изоловани ентитети пружајући различите информације о карактеристикама производа, у трећем блоку остварује се њихова интеграција што омогућава генерисање конфигурација као визуелизације података о производу додељених за специфичне задатке у одређеном тренутку животног циклуса.

Plo и др. [323] кроз студију случаја предузећа прехрамбене индустрије представљају приступ који има за циљ повећање ефикасности процеса имплементације PLM система кроз анализу потреба и очекивања корисника. Приступ усвојен у анализираном предузећу омогућава корисницима да артикулишу своје потребе и самостално дефинишу спецификације PLM решења. Први корак у овом процесу укључује разумевање начина на који су процеси организовани, следи разумевање филозофије PLM приступа у другом кораку, што заједно резултира развојем модела прилагођеног специфичним захтевима предузећа, уједно кохерентног са принципима PLM концепта. Овој корак подразумева употребу онтологија у циљу лакшег разумевања фаза животног циклуса. Аутори наводе да се потребе корисника у пракси не разматрају на одговарајући начин што доводи до недоследности између стварних потреба и функционалности имплементираних PLM система. С тим у вези предлажу приступ заснован на коришћењу мапе ума и личности, који омогућава прогресивно дефинисање профила корисника и њихових очекивања. Саму мапу структурирају четири гране, моделирање предузећа, праћење доприноса, праћење резултата и дефинисање софтверских апликација.

Arribas и *José* [16] су спровели студију случаја у компанији модне индустрије на пројекту имплементације PLM-а који је обухватао фазу припреме која укључује упознавање и развој свести о значају и практичним импликацијама PLM-а, затим анализу пословних процеса и њихово поређење са стандардним процесима дефинисаним у оквиру софтверских решења; и фазу имплементације PLM решења. Сprovedена студија потврђује да је кључни фактор успеха у имплементацији начин размишљања и ставови запослених.

Анализирајући искуства из пројекта имплементације PLM-а компаније која се бави производњом резервних делова и опреме за производне погоне за различите индустријске секторе, *Donoghue* и др. [117] долазе до закључка да имплементација PLM приступа конципирана искључиво као ИТ фокусирана иницијатива доноси ограничене резултате, с обзиром да се заснива на ограниченом знању о производима, процесима и пословним моделима. Уместо тога она мора бити конципирана као процес стратешке пословне трансформације који укључује имплементацију стратешких покретача (дефиниција

производа и услуга и PLM стратегија), при чему је неопходно разумети однос стратегије, производа, пословних модела и технологија.

Још једна од студија које доприносе корпусу знања у области имплементације PLM-а је студија случаја коју су спровели *Bokinge* и *Malmqvist* [39], студија анализира спроведени пројект имплементације PLM-а у компанији прерађивачке индустрије, при чему је њен фокус на мапирању разлога за предузете правце деловања у току пројекта и анализи њихових импликација у циљу валидације и проширења смерница за извођење пројекта имплементације PLM-а. Истраживачки процес је укључио систематизују доступних смерница у домену имплементације и процену степена њихове релевантности, водећи се случајем анализираних пројекта.

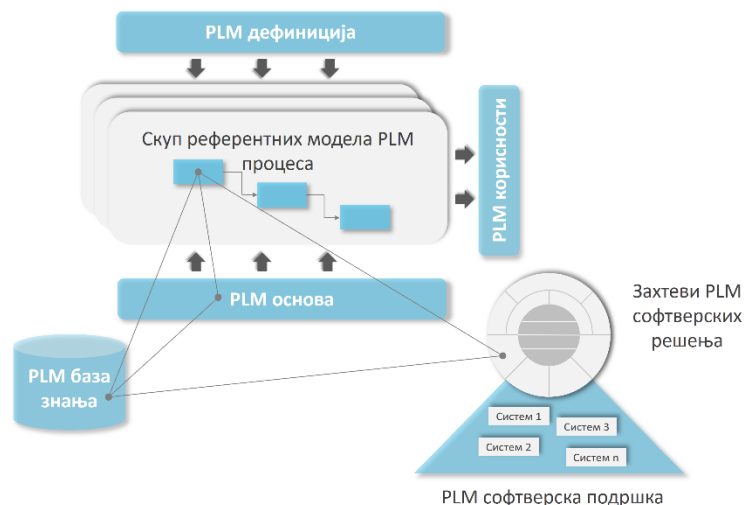
3.5 Постојећи методолошки оквири за подршку имплементацији PLM приступа

Као допринос систематизацији и анализи постојећих научних резултата у области имплементације PLM-а, на основу прегледа већег броја академских публикација у овој области, идентификовани су и анализирани постојећи методолошки приступи/модел/оквири које предузећа могу следити као референтне при структурирању и усклађивању различитих елемената и нивоа релевантних за успостављање PLM приступа. Имајући у виду да се као резултат истраживања обухваћеног дисертацијом предвиђа успостављање методолошког оквира за подршку имплементацији PLM-а, који се заснива на постојећим, емпиријски потврђеним приступима, са акцентом на превазилажење њихових слабости или недовољно разрађених аспеката, у наставку су представљени и анализирани приступи релевантни за ово истраживање.

Schuh и др. [365] дефинишу процесно оријентисани оквир за који тврде да може служити као референтни модел у односу на који компаније могу успоставити сопствене процесе имплементације, у том контексту дефинишу седам комплементарних елемената оквира (слика 19), укључујући: 1) PLM дефиницију; 2) PLM основу; 3) скуп референтних модела PLM процеса; 4) каталог софтверских захтева; 5) PLM софтверску подршку; 6) PLM базу знања; 7) спецификацију потенцијалних користи од имплементације. Разрађујући дефиницију PLM-а као концепта до нивоа који упућују на његове практичне импликације, оквир најпре идентификује кључне елементе који су потребни за затварања информационе петље животног циклуса производа, попут динамичког управљања захтевима, интегрисаног развоја производа и производних процеса, интегрисаног управљања идејама, пројектима и портфолиом производа итд., овако специфицирана дефиниција PLM-а служи као основа за дефинисање циљева имплементације. Док као полазну тачку у имплементацији, оквир предвиђа специфицирање структуре производа (енг. *Product Structuring*) и проверу њене способности да подржи PLM, имајући у виду да управљају свим објектима који представљају информације о животној циклусу производа и њиховим структуралним односима, ове структуре се сматрају неопходном основом за имплементацију PLM-а.

У основи приступа имплементацији, који се предлаже је развој сета референтних модела за осам кључних PLM процеса, попут управљања идејама, квалитетом, променама итд., ослањајући се на проверену пословну праксу. Међутим, како добру праксу није могуће унифицирати у различитим контекстуалним околностима, предвиђа се прилагођавање стандардних референтних модела у односу на карактеристике организације (величину, сектор итд.). Приоритети у имплементацији се одређују у односу на очекиване користи које се везују за одабране PLM процесе, док се еволутивни пут у прилагођавању процеса одабраном референтном моделу заснива на резултатима тзв. *as is-to be* анализе. За потребе анализе користе се технике идентификовања и моделирања процеса које служе као алат за откривање и дељење знања о пословним процесима организације, због чега се сматрају

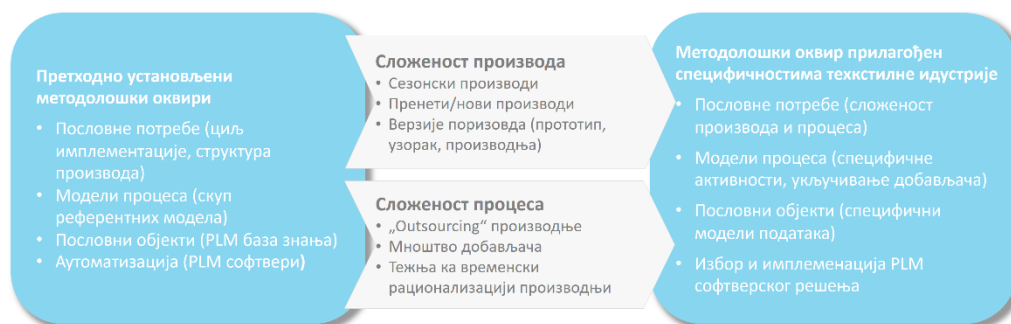
парадигматском основном предложеног оквира. Такође, оквир дефинише генерички процес имплементације који предвиђа десет корака (табела 4) изведених из класичних приступа процесног инжењерства, прилагођених потребама имплементације PLM-a.



Слика 19. Процесно оријентисани оквир имплементације PLM-a [365]

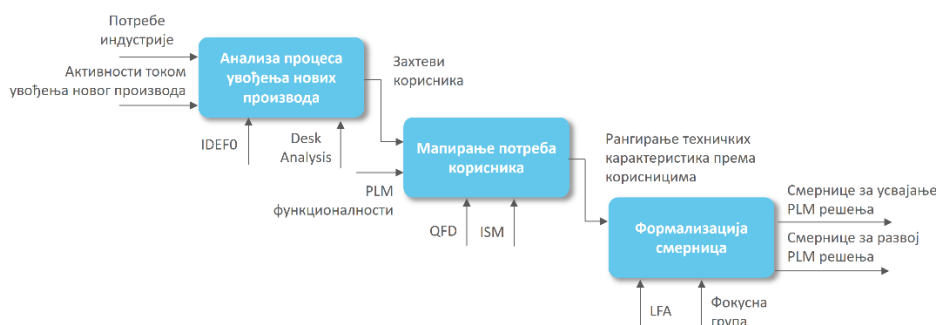
Надовезујући се на процесно оријентисане приступе чију парадигматску основу чини моделирање PLM података и процеса, са друге стране истичући проблем недостатка адекватних методологија за структурирање мултидисциплинарних података о производу у конзистентне моделе, *Le Duigou* и др. [242] дефинишу концепт моделирања у чијој основи је приступу *одоздо према горе*. Предложени методолошки оквир укључује развој генеричких модела података за корпус малих и средњих предузећа укључујући и методологију за прилагођавање генеричког модела контексту специфичном за одређени домен или предузеће. Ослањајући се на студије случаја спроведене на одабраном узорку малих и средњих предузећа дефинисана је листа генеричких потреба које стандардни PLM систем треба да задовољи, примера ради, ове потребе су укључивале управљање конфигурацијама, сарадњу, планирање процеса, интероперабилност итд. Оквир даље предвиђа методологију за генерализацију специфичних мета-модела добијених из одабраног узорка предузећа у генерички модел који задовољава листу идентификованих PLM потреба. Такође, предвиђа методологију која омогућава да се објекти генеричког модела прилагоде за специфични домен или предузеће, у том контексту дефинишу три нивоа инстанцирања: генерички (применљив у свим доменима), делимични (прилагођен специфичном домену) и конкретни (инстанциран из делимичног у складу са специфичностима пословања предузећа). Методологија за инстанцирање модела нижег нивоа укључује идентификовање специфичних потреба, дефинисање процеса неопходних за задовољење тих потреба.

d'Avolio и др. [101] дефинишу модел специфичан за текстилну индустрију у оквиру кога инкорпорирају два комплементарна истраживачка приступа, први који у свом процесно оријентисаном оквиру промовишу *Schuh* и др. [365] и други оријентисан на моделирање процеса и података у функције подршке имплементацији PLM система који предлажу *Le Duigou* и др. [242]. Аутори усвајају кључне елементе имплементације PLM-a установљене кроз наведена истраживања, настојећи да их прилагоде околностима специфичним за текстилну индустрију, који произилазе из сложености њених процеса и производа. Као резултат, конституисан је методолошки оквир имплементације, који укључује четири фазе, 1) идентификовање пословних питања и потреба, 2) развој модела процеса и података, 3) идентификовање PLM пословних објеката и 4) анализа сценарија за избор PLM решења.



Слика 20. Процесно оријентисани приступ имплементацији PLM-а прилагођен специфичностима текстилне индустрије [101]

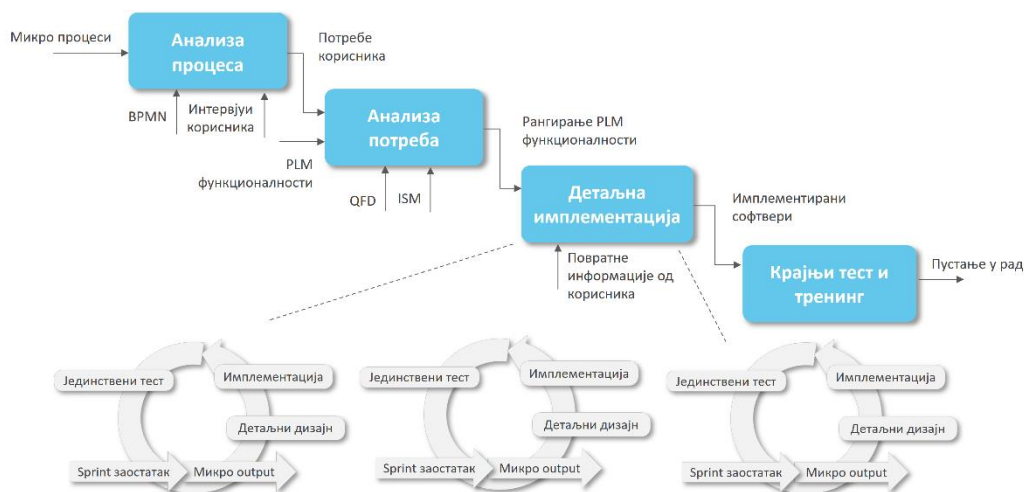
Још један од методолошких оквира имплементације PLM-а заснован на процесно оријентисаном приступу предлажу Vezzetti и др. [428], оквир подстиче боље разумевање практичних импликација PLM-а на процесе увођења нових производа и генерише сет смерница за његову доследну имплементацију, укључујући приступ усмерен на кориснике, према коме се различите перспективе и потребе корисника морају узети у обзир приликом дефинисања PLM стратегије. Као своју основу и полазну тачку, оквир предвиђа формализацију процеса развоја увођења нових производа применом IDFO и Desk Analysis техника и идентификовање њихових слабости и пожељних побољшања кроз анализу која захтева ангажовање свих актера укључених у процес. Као кључни излаз оваквог поступка обезбеђују се јасно специфицирани захтеви корисника/актера процеса.



Слика 21. Приступ имплементацији PLM решења у функцији подршке процесима увођења нових производа [428]

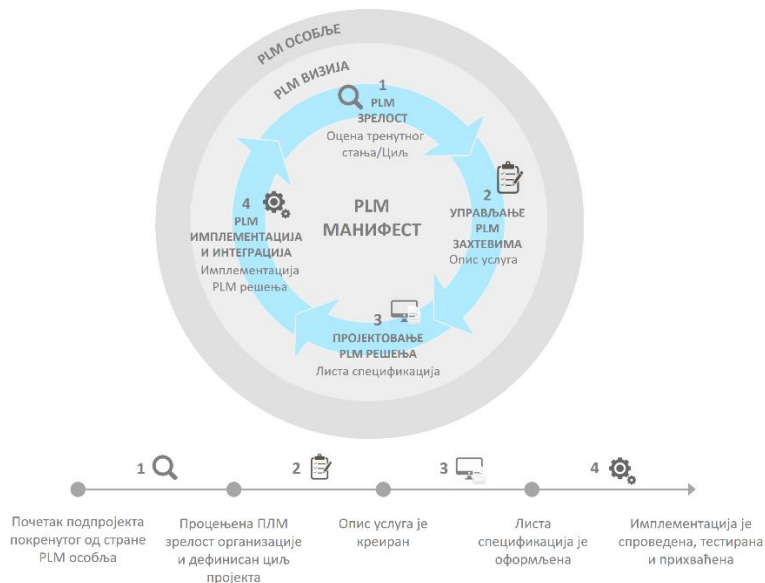
У циљу добијања јасније слике како PLM може да подржи процесе развоја нових производа предвиђа се методологија која омогућава мапирање идентификованих корисничких захтева и PLM функција и квантификовање утицаја који PLM функције могу имати на перформансе ових процеса.

Надовезујући се на приступ који су Vezzetti и др. [428] успоставили у својој студији, Fani и др. [138] развијају нови, модификован модел чији је циљ повећање ефикасности примене PLM технологија у организацијама. Аутори предлажу структурирани модел (слика 22) заснован на приступу *одоздо на горе* који укључује кључне кориснике стављајући акценат на њихове потребе. Предложени модел укључује четири генеричка корака, при чему као нулти корак предвиђа идентификовање микро процеса у ланцу вредности карактеристичном за текстилну индустрију. Док као први корак уводи анализу процеса што укључује мапирање идентификованих процеса применом *Business Process Model and Notation (BPMN)* стандарда и полуструктурираних интервјуа за прикупљање неопходних информација за разумевање процеса.



Слика 22. Оквир имплементације PLM-а заснован на анализи потреба корисника [138]

Следи корак анализа потреба усмерен на идентификовање потреба корисника повезаних са активностима мапираним током анализе процеса и дефинисање PLM функционалности са којима су повезане. Релативна важност PLM функционалности за разматрану организацију одређује се на основу процене важности идентификоване потребе као и релевантности PLM функционалности за задовољење разматране потребе. У оквиру фазе детаљна имплементација, следећи агилни приступ свака од функционалности се имплементира кроз кораке 1) детаљни дизајн, 2) имплементација и 3) јединствени тест за верификацију успостављених функционалности од стране корисника и прикупљање повратних информација о евентуалним побољшањима. Као последња фаза имплементације спроводи се тест интеграције и система, откривање и отклањање евентуалних проблема који постоје у интеракцији између излаза различитих PLM функционалности, такође предвиђа се обука корисника као критични елемент интернализације усвојених технологија. Поред наведеног, оквир ставља акценат на примену адекватних приступа управљању пројектима, при чему се предлага хибридни приступ који комбинује традиционално и агилно управљање пројектима. Док су главне фазе имплементације организоване следећи традиционални приступ, како би се загарантовало њихово структурирано планирање активности унутар фазе детаљна имплементација су организоване следећи агилне принципе.



Слика 23. Модел имплементације PLM-а заснован на *Boehm*-овом спиралном циклусу [15]

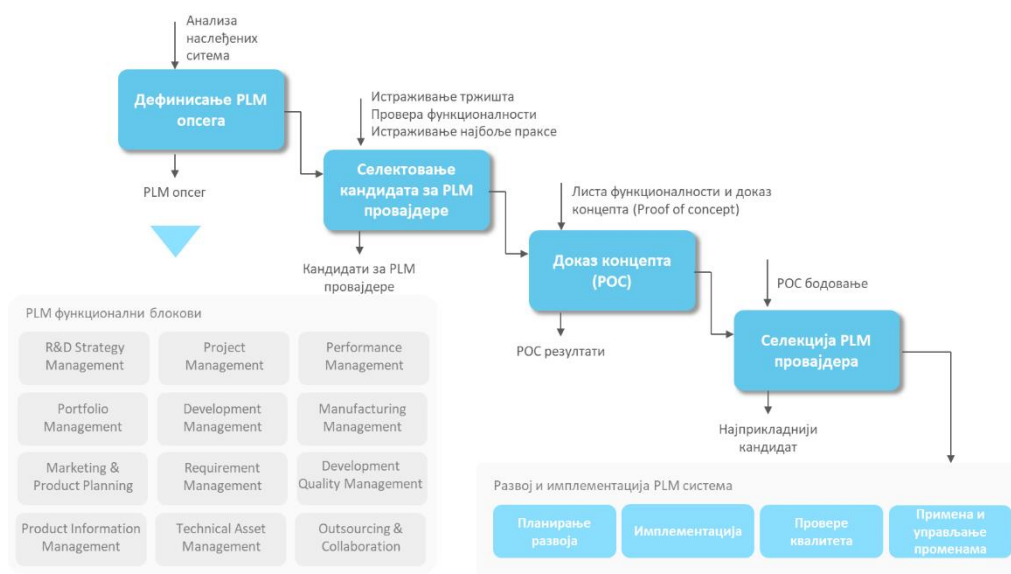
Arnold и др. [15] предлажу приступ еволуционог развоја (слика 23) који подржава секвенцијалну имплементацију PLM-а кроз серију пројеката, при чему сваки од пројеката одговара спиралном циклусу преузетом из *Boehm*-овог модела за развој софтвера обогатоеног елементима специфичним за PLM. Модел укључује статичне елементе (PLM визија, PLM особље и PLM манифест) и динамичне елементе (спирални циклус), при чему његов централни део чини генерички PLM манифест садржан од модела производа и процеса, који се сматрају језгром PLM окружења. Како би успоставио приступ оријентисан ка циљу, као језгро еволуционог модела имплементације *Arnold* и др. [15] предлажу генерички PLM манифест који чини комуникациону основу процеса имплементације. PLM манифест садржи моделе који представљају концепт уоквирен документима заснованим на описима концепта. Динамични елемент модела чини спирални процес који се спроводи за сваки од секвенцијалних пројеката и обухвата четири фазе:

Фаза 1 - „PLM спремност“: укључује процену спремности система за имплементацију PLM-а кроз проверу зрелости за појединачне аспекте PLM-а (функционалне блокове), применом специјализованих модела зрелости. Као резултат процењује се потенцијал побољшања за сваку од PLM области у смислу разлике између стварног и профила који се бира као циљни. Приоритети у имплементацији се одређује у односу на потенцијал унапређења и резултате *cost-benefit* анализе.

Фаза 2 - Управљање PLM захтевима: укључује формалну спецификацију захтева за одговарајући PLM аспект обухваћен спиралним циклусом, на основу циљева дефинисаних у претходној фази, узимајући у обзир граничне услове и ресурсе компаније. Ови захтеви укључују стратешке, функционалне, техничке захтеве, захтеве који се односе на обим и ергономске захтеве. Спецификација поред тренутног статуса описује и циљано стање у односу на техничка, економска и организациона очекивања.

Фаза 3 - Пројектовање PLM решења: укључује формирање функционалних спецификација које ближе дефинишу све услуге које извођачи морају понудити компанији и креира се на основу захтева специфицираних у претходном кораку.

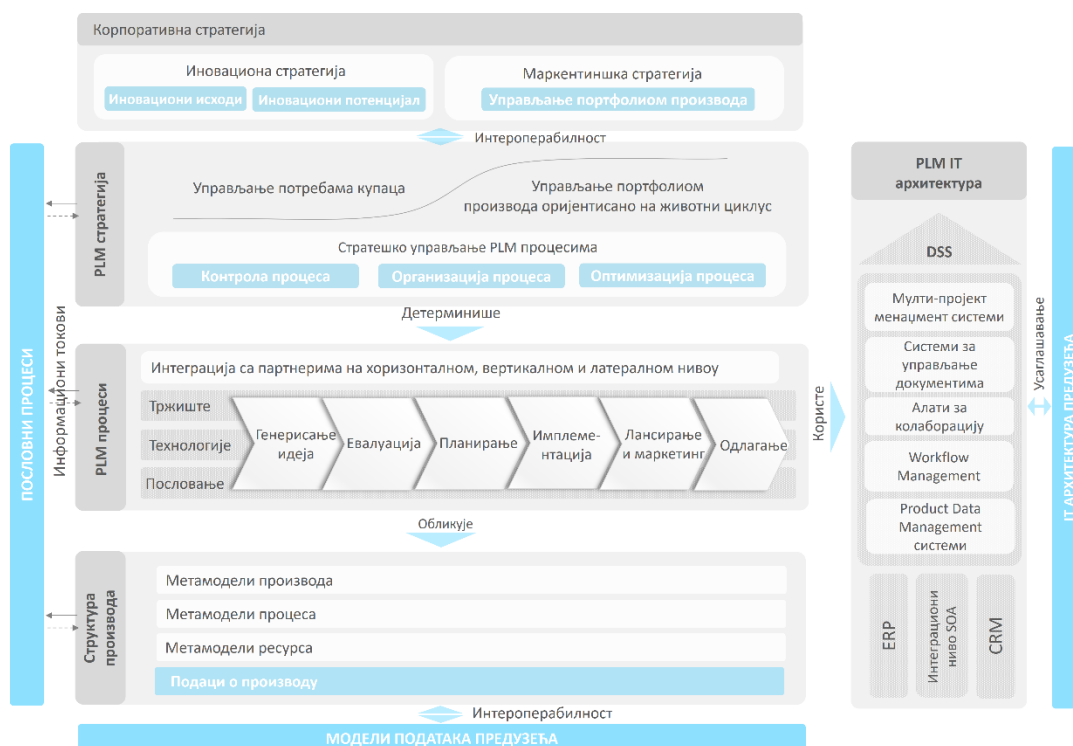
Фаза 4 - Имплементација и интеграција: оцењује се као критична фаза еволуционог процеса имплементације, спроводи се на основу претходно дефинисаних спецификација и укључује пет корака: имплементација, прилагођавање, тестирање, инсталација и ревизија.



Слика 24. Процес имплементације PLM система [296]

Кроз свој модел *Myung* [296] дефинише структурирани процес имплементације PLM система, који укључује дефинисање PLM опсега у раној фази имплементације, за шта као концептуалну основу предвиђа референтни модел од дванаест PLM функционалних блокова (слика 24). PLM опсег се дефинише у складу са статусом организације који се процењује на основу прегледа алата и система који су тренутно у употреби. Предложени оквир укључује и опис процедуре за избор PLM провајдера, који се заснива на резултатима бодовања доказа концепта (енг. *Proof of Concept - POC*) који укључује доказ функција и доказ имплементације. *Myung* [296] детаљно разрађује и оперативни модел имплементације, дефинишући етапе у развоју и имплементацији PLM система, укључујући планирање развоја, имплементацију, контролу квалитета, примену и управљање променама.

Golovatchev и *Budde* [157] предлажу комплексан оквир за развој и имплементацију холистичког PLM-а (слика 25) који помаже у структурирању и усклађивању различитих елемената и концепата који су релевантни за успостављање овог приступа. Иако не разрађује оперативни модел имплементације, оквир пружа концептуалну основу за успостављање PLM приступа и дефинише кључне градивне блокове интегрисаног PLM оквира укључујући PLM стратегију, PLM процесе, структуру производа и ИТ архитектуру.



Слика 25. Концептуални оквир имплементације са општим градивним блоковима PLM-а [157]

Стратегија: Усклађивање PLM стратегије декларисане кроз стратешко управљање PLM процесима, управљање потребама купаца и управљање портфолијом производа оријентисаним на животни циклус са иновационом стратегијом на корпоративном нивоу.

Процеси: Прилагођавање постојећих процеса како би се олакшало њихово извођење и усклађивање са PLM циљевима компаније. Што нарочито долази до изражаја са еволуцијом производа у сложене системе производ-услуга који интегришу мноштво модула које карактеришу различити животни циклуси и велике варијансе у функционалностима.

Архитектура производа: Успостављање конзистентне структуре производа захтева моделирање производа на нивоу перформанси – тржишна перспектива, на нивоу процеса – перспектива услуга и на нивоу производа – перспектива материјалних добара.

ИТ архитектура: У циљу ефикасног извођења PLM процеса неопходно је обезбедити одговарајући оквир за ИТ компоненте који омогућава њихово оптимално усаглашавање са PLM процесима. Одговарајућа ИТ архитектура треба да обезбеди подршку одлучивању, оперативну подршку и подршку у домену интеграције пословних апликација.

3.6 Недостаци или недовољно наглашени аспекти у постојећим приступима имплементацији PLM-а

Анализа спроведена на основу прегледа већег броја релевантних публикација, указује да истраживачки напори у овој области још увек нису резултирали доминантним методолошким оквиром који би на оптималан начин подржао процес имплементације PLM-а, имајући у виду да постојећи приступи испољавају одређене слабости, пате од недостатка холистичког приступа или недовољно наглашавају поједине аспекте имплементације.

Значајан део студија у овој области је усмерен на истраживања у домену успостављања одговарајућег технолошког концепта који је у основи PLM-а, пружајући допринос интероперабилности и интеграцији информација, њиховој редундантној размени и конверзији и постизању опште кохерентности између података у PLM окружењу; интероперабилности софтверских решења и капитализацији знања које генеришу итд. Док су формално дефинисани модели имплементације PLM-а углавном оријентисани на домен развоја и имплементације PLM система, при чему не узимају у обзир све релевантне аспекте за правилно разумевање пословних потреба, услед чега се мере за побољшање способности предузећа за примену PLM-а у домену организационе структуре или процеса не разматрају.

Такође, значајан део доступних истраживања на ову тему пружа подршку у структурирању и усклађивању различитих нивоа и елемената који су релевантни за успостављање PLM-а, бавећи се овим питањима искључиво на концептуалном нивоу, при чему пружају мало оперативних индикација, занемарују се неки важни оперативни аспекти као што су непосредна имплементација, верификација и обука. Овакви модели разматрају опште аспекте управљања пројектима имплементације, идентификовањем организационих изазова и уобичајених питања у оквиру иницијатива за имплементацију PLM-а, међутим не дефинишу генерички процес имплементације и углавном су оријентисани на његове ране фазе, без неопходног холистичког приступа или детаљније разрађеног оперативног модела. Треба напоменути и да су традиционално истраживања у овој области била фокусирана на увођење PLM-а у великим пословним системима, иако су последњих година истраживачки напори усмерени ка малим и средњим предузећима, стопа неуспеха у пројектима имплементације у овим предузећима није значајно смањена. Ова истраживања углавном теже прилагођавају модела имплементације специфичностима одређених индустрија повезаним са карактеристикама производа, због чега им недостаје својство генеричности.

Већина установљених методолошких приступа наглашава систематизацију и формално документовање знања о процесима као основу имплементације PLM-а, међутим занемарује се проблем недовољне формализованости организационе структуре и процеса у малим предузећима. Такође, значајни напори се оријентишу на моделирање података чиме се покушава превазићи проблем недоступности одговарајућих решења, ипак тренутни приступи не идентификују адекватне приступе моделирању за успешну интеграцију и структурирање мултидисциплинарних података о производима. Постојећим моделима се замера и да недовољно пажње посвећују мапирању потреба крајњих корисника укључених у процесе животног циклуса производа, па је и поред тога што се често промовише, тзв. приступ *одоздо према горе* у тренутним моделима ретко заступљен. Ограничавајући фактор већине предложених модела је и недостатак мерљивих индикатора и процедура за системско праћење и евалуацију пројеката имплементације. Тренутне праксе се углавном

ослањају на алате за мерење PLM зрелости, који иако способни да прате развојни статус предузећа на еволутивном путу до референтне зрелости PLM праксе и технологија, не обухватају довољно мерљивих индикатора за свеобухватну валоризацију резултата имплементације.

Такође треба нагласити да питање евалуације и избора PLM софтверског решења које ће на оптималан начин подржати успостављање одговарајућег технолошког концепта својственог PLM-у у тренутним приступима није методолошки подржано на одговарајући начин. Иако се потенцира важност овог питања, изостају модели одлучивања способни да одговоре на сложену и неструктурирану природу овог проблема, узимајући у обзир ширу перспективу изван, традиционално разматраних, технолошких и финансијских аспеката, што је нарочито важно ако узмемо у обзир стратешку природу PLM-a, његов организациони, технолошки и бихевиорални утицај. Истраживања указују да се потпуна и кохерентна примена овог приступа у пракси ретко постиже, при чему PLM иницијатива често досеже само изоловане аспекте управљања животним циклусом производа, без холистичког приступа, што може бити последица недостатка јасног теоријског опсега PLM-a, у прилог чему говори чињеница да значајан део предложених модела не садржи конзистентне дефиниције његовог функционалног домена.

Из перспективе управљања пројектима већина установљених оквира се ослања на традиционални секвенцијални приступ, који није у стању да одговори на динамичку природу ових пројеката. Пратећи импликације временског напретка пројеката на еволуцију кључних аспеката имплементације, *Holler* и др. [186] указују да постоји потреба за знатним прилагођавањима у свим анализираним аспектима у току самог пројекта, најчешће иницираним променама у његовим циљевима и обиму, због чега је неопходна примена приступа којима ће се постићи одговарајућа флексибилност која није својствена традиционалним приступима, истовремено је потребно задржати структуриране оквири и осигурати контролу над обимом пројекта и усклађености са циљевима имплементације. Правовремено реаговање на евентуалне неусаглашености у односу на пословне потребе, интегрисање промена у захтевима на ефикасан и контролисан начин и благовремено укључивање повратних информација од стране корисника, рано остваривање пословне користи од имплементације PLM решења итд. само су неки од захтева на које традиционални приступи управљању пројектима нису успели да одговоре.

Већина до сада успостављених приступа није у стању да одговори на потребе предузећа за одговарајућом подршком при формулисању оптималне стратегије имплементације, будући да ово питање најчешће није методолошки подржано на одговарајући начин. Као последица тога, долази до неусаглашености између специфичних потреба ППС-а и развијених функционалних аспеката PLM-a. Такође, недостају методолошки приступи који би им помогли да мапирају латентне потребе, док се питање процене приоритета имплементационих напора занемарује, због чега предузећа често нису у стању да ускладе модел развоја PLM компетенција са специфичним пословним приоритетима. Ово ствара неефикасне процесе имплементације, чији ефекти у почетним фазама не генеришу значајније пословне вредности за предузеће, због чега се губи поверење у оправданост PLM иницијативе и слаби њен потенцијал за мобилисање неопходних организационих напора.

Табела 4 даје упоредни приказ различитих методолошких приступа/модела/оквира развијених у области имплементације PLM-a, пружајући свеобухватан оквир за њихово поређење, заснован на општим карактеризацијама којима се покушавају покривати најважнија својства ових модела. При чему дату листу не треба сматрати исцрпном за све моделе развијене у овој области, анализом су обухваћени приступи који су се сматрали релевантним за дефинисање правца и циља овог истраживања.

Табела 4. Упоредна анализа постојећих методолошких приступа имплементацији PLM-а

Методолошки приступи/модели/оквири имплементације		Фазе имплементације	Подручје примене	Приступ управљању пројектом имплементације	Методолошки приступ развоју стратегије имплементације	Подршка избору PLM софтверског решења	Свеобухватност приступа	Мерљиви индикатори и процедуре за процену успеха имплементације	Валидација оквира истраживања у реалном контексту	Специфициран функционални домен PLM-а
<i>Schuh</i> и др. [365]	Процесно оријентисани приступ заснован на развоју и имплементацији референтних модела за кључне PLM процесе	• Дефинисање циљеве; • Анализа основе за имплементацију; •Рангирање PLM процесе; • <i>As is-to be</i> анализа; • Одабир референтних модела процеса; • Прилагођавање референтних модела; • Дефинисање захтеве за избор PLM софтвера; •Избор решења; • Дефинисање еволутивног пута до референтног модела процеса; • Едукација запослених	Машинска индустрија	Еволутивни развој референтних модела PLM процеса праћен имплементацијом одабраног софтверског решења	Одређивање ранга процеса који ће бити развијани као део PLM стратегије разматрањем очекиваних користи (идентификовање корелација између ентитета PLM имплементације и индикатора успеха) у односу на циљеве организације	Каталог функција неопходних за успостављање PLM-а који је неутралан за добављаче за процену и поређење PLM софтвера	• Оријентисан на ране фазе имплементације • Узима у обзир искључиво пословну перспективу	—	—	✓
<i>d’Avolio</i> и др. [100]	Процесно оријентисани оквир за имплементацију PLM-а, прилагођен карактеристикама производа и процеса текстилне индустрије	• Идентификовање пословних питања и потреба • Развој модела процеса и података • Идентификовање PLM пословних објеката • Анализа сценарија за избор PLM решења	Текстилна индустрија	—	Идентификовање пословних питања и потреба везаних за управљање процесима и подацима, њихово рангирање према приоритету	Листа критеријума, кључних индикатора и припадајућих параметара за оцену PLM решења и провајдера	• Оријентисан на ране фазе имплементације • Недостаје својство генеричности	—	✓	—
<i>Vezzetti</i> и др. [428]	Структурални приступ дефинисању скупа смерница за развој и усвајање PLM решења у функцији подршке процесима увођења нових производа	• Анализа процеса увођења нових производа • Мапирање потреба корисника • Формализација смерница	Текстилна индустрија	Секвенцијални модел	Формализација процеса увођења нових производа у функцији анализе корисничких потреба и њихово мапирање са PLM карактеристикама	—	• Оријентисан на ране фазе имплементације • Недостаје својство генеричности	—	—	—
<i>Fani</i> и др. [138]	Структурирана методологија за имплементацију PLM-а која полази од специфичних потреба крајњих корисника	• Анализа процеса • Анализа потреба • Детаљна имплементација • Крајњи тест и тренинг	Текстилна индустрија	Хибридни модел имплементације који комбинује традиционално и агилно управљање пројектима	Анализа потреба крајњих корисника повезаних са активностима мапираним кроз анализу микро процеса у ланцу вредности, рангирање PLM функција у односу на идентификоване потребе	—	• Разрађен оперативни модел имплементације • Недостаје својство генеричности	✓	✓	✓
<i>Arnold</i> и др. [15]	Холистички оквир имплементације засноване на секвенцијалном развоју PLM функционалних блокова, са генеричким PLM манифестом као језгром модела	• Оцена PLM зрелости • Управљање PLM захтевима • Пројектовање PLM решења • Имплементација и интеграција	Генерички оквир	Еволутивни развој заснован на <i>Boehm</i> -овом спиралном циклусу	Приоритизација функционалних блокова који ће се обрађивати кроз етапе еволутивног развоја утврђивањем потенцијала за унапређење на основу процене степена зрелости применом специјализованог модела евалуације	Опис процедуре за формалну спецификацију стратешких, функционалних, техничких и ергономских захтева за избор PLM решења	• Разрађен оперативни модел имплементације	—	—	✓
<i>Golovatchev и Budde</i> [157]	Концептуални оквир за структурирање, развој и имплементацију холистичког PLM-а, са моделом PLM градивних блокова	-	Сектор енергетике	—	—	—	• Подршка успостављању PLM приступа на концептуалном нивоу	—	—	—
<i>Myung</i> [296]	Процедура имплементације PLM система, са референтним моделом PLM функционалних блокова у основи	• Дефинисање PLM опсега • Сагледавање кандидата за PLM провајдере • Доказ концепта (POC) • Селекција PLM провајдера • Развој и имплементација PLM система	Генерички оквир	Секвенцијални модел имплементације (планирање развоја, имплементација, контрола квалитета, распоређивање и управљање променама)	Дефинисање PLM опсега у раној фази имплементације одабиром конфигурације PLM функционалних блокова у складу са постојећим статусом организације	Процедуру за избор PLM провајдера на основу резултата POC бодовања, укључујући доказ функција и доказ имплементације	• Разрађен оперативни модел имплементације • Ограничен искључиво на процес избора и имплементације PLM система • Не узима у обзир релевантне аспекте за правилно разумевање пословних потреба	—	—	✓
<i>Le Duigou</i> и др. [242]	Методолошки оквир за моделирања података и процеса у циљу лакше имплементације PLM система	—	Генерички оквир за МСП	—	—	—	• Оријентисан на специфичан домен имплементације PLM система	—	✓	—

4 ИНИЦИЈАЛНО ИСТРАЖИВАЊЕ

Општи циљ иницијалног истраживања је да обезбеди свеобухватније разумевање проблема који се у оквиру дисертације истражује и укаже на његов значај и актуелност у условима српске привреде.

Задатак овог дела истраживања је идентификовање и анализа показатеља које ближе упућују на иновативну оријентисаност предузећа српске прерађивачке индустрије и перспективу PLM приступа у Србији. Сходно томе, предмет истраживања обухвата анализу иновативног профила предузећа српске прерађивачке индустрије, пројектованог на бази кључних одредница њихових иновационих перформанси и понашања, изведених на основу емпиријских података о исходима реализованих иновационих процеса стварања нових или побољшања постојећих производа и пословних напора на оснаживању кључних елемената иновационог система предузећа. Додатно, анализом су обухваћени потенцијални извори неефикасности у процесима развоја нових производа и изазови са којима се предузећа у овим процесима суочавају. Други сегмент анализе укључује процену заступљености PLM приступа у српској прерађивачкој индустрији, анализу различитих аспеката организационе и технолошке спремности предузећа за усвајање PLM-а.

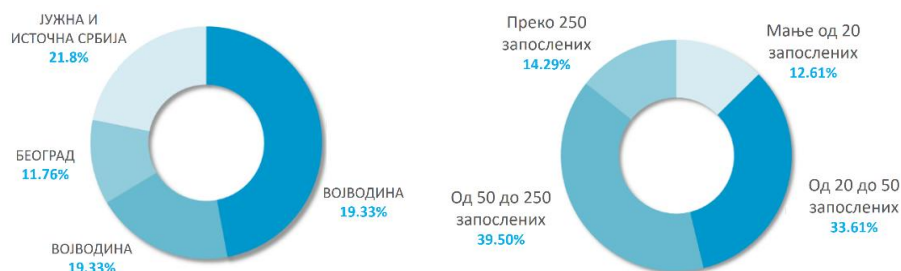
Истраживање је реализовано кроз анкетно испитивање спроведено на корпусу малих и средњих предузећа српске прерађивачке индустрије, чији је задатак прикупљање емпиријских података из релевантних извора и њихова интерпретација у складу са дефинисаним циљевима истраживања. Полазећи од предмета и циљева иницијалног истраживања, а ослањајући се на постојеће теоријске поставке, истраживачку литературу из области обухваћених истраживањем и раније примењиване истраживачке моделе, конципирана је структура и садржај анкетног упитника, који је представљен у прилогу 1.

4.1 Прикупљање података

Као техника за прикупљање емпиријских података коришћено је *online* анкетирање, које је реализовано у раздобљу од марта до јула 2019. године. Узорак на коме је истраживање вршено обухвата привредна друштва са седиштем на територији Републике Србије, чија је претежна делатност регистрована у сектору прерађивачке индустрије, идентификована уз помоћ база података Привредне коморе Србије и регионалних тела Коморе и Агенције за привредне регистре Републике Србије. Узорком су обухваћена привредна друштва чија је правна форма: командитно друштво, друштво са ограниченом одговорношћу или акционарско друштво; имају више од десет запослених; а тренутну делатност обављају дуже од три године. На позив за учешће у истраживању одазвало се укупно 131 привредно друштво, од чега је 119 испитаника исправно попунило упитник, док је 12 одговора искључено из даљих анализа као неправилно или непотпуно попуњени упитници. Територијална структура узорка и структура према величини предузећа обухваћених истраживањем дата је на слици 26. Привредни субјекти са седиштем на подручју статистичког региона Косова и Метохије нису обухваћени овим истраживањем због недоступности базе података уз помоћ које би се идентификовали потенцијални испитаници са овог подручја.

Првобитни концепт упитника је тестиран на узорку од седам предузећа, при чему су испитаници упитник попуњавали уз непосредну интеракцију са анкетаром. Повратне информације добијене током тест фазе анкетирања су послужиле као смернице за модификовање упитника како би се осигурало да су питања конципирана на начин који је разумљив испитаницима и прикладан за пружање одговора; да је упитник одговарајућег

обима за испитанике; те да ће подаци прикупљени током анкетања пружити релевантне показатеље о проблематици обухваћеној истраживањем.



Слика 26. Структура узорка анкетног истраживања

Предвиђено је да анкетни упитник попуне релевантни информатори предузећа, попут генералног менаџера, менаџера производа или других лица надлежних за активности из области управљања производима. Од испитаника је затражено да пружи релевантне податке о пословању свог предузећа везане за проблематику која се истражује, одговарањем на питања махом затвореног типа. Испитаници су на питања одговарали давањем података о чињеничном стању у предузећу лингвистичког и нумеричког карактера или исказивањем својих перцепција о усклађености ставова и понашања предузећа са низом генеричких изјава, применом Ликертове скале.

4.2 Резултати анкетног истраживања

У наставку је дат извод из резултата анкетног испитивања, ови резултати су детаљније приказани у прилогу 2.

Иновативна оријентисаност предузећа

Према резултатима истраживања 70% испитаних предузећа у периоду од претходних пет година, у односу на тренутак анкетања, није развијало нове производе, док су међу иновираним производима највећи део чиниле инкременталне иновације. При чему се преко 80% односило на модификације постојећих производа, међу којима већину чине постојећи производи са унапређеним техничким карактеристикама, материјалима или функционалностима, остатак укључује допуне постојећих линија, репозициониране производе или производе са смањеним трошковима. Међу иновираним производима, 13% се односило на производе који исте или сличне намене, функционалних и других својства већ постоје на тржишту на коме предузеће послује. Мање од 3% су чинили радикалнији облици иновација, односно производи који могу представљати новину и за тржиште. Посматрано са аспекта удела нових производа у структури производног програма предузећа, производи уведени у периоду од претходних годину дана од тренутка анкетања, чинили су у просеку 1,6% производног програма ових предузећа, односно 3,57% када је реч о производима уведеним у периоду од 1-3 претходне године.

Резултати анкете указују и на низак степен успеха нових производа, наиме око 19% производа развијаних у посматраном периоду није доживело своју комерцијализацију, док већина производа пласираних на тржиште није остварила очекивани комерцијални успех. Разлози неуспеха су углавном интерног карактера, међу којима се најчешће помињу пропусти у предразвојној фази, на које указује преко 50% испитаних предузећа. Техничка мањкавост производа и проблеми у домену његовог лансирања на тржиште су разлози на које указује око 35% њих, док су екстерни фактори попут јаких снага и неповољних реакција конкурената, према мишљењу испитаника, имали нешто слабији утицај на низак ниво успеха производа.



Слика 27. Структура иновација производа према степену иновативности

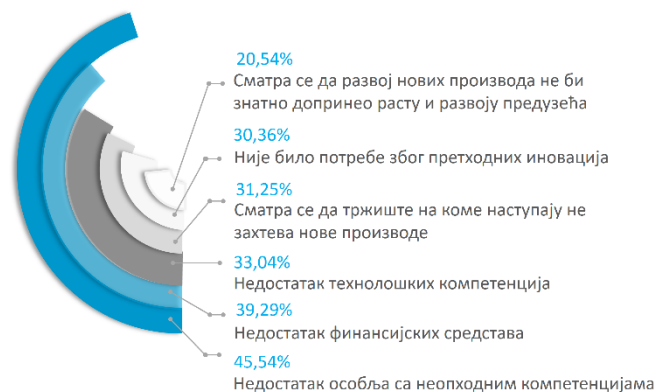
Према резултатима истраживања, свега 22% испитаних предузећа систематски и организовано ради на активностима истраживања и развоја, око 54% то чини повремено, док 24% њих не спроводи никакве облике истраживања и развоја. Такође, већина испитаних предузећа (око 65%) нема специјализоване тимове формиране за потребе истраживања и имплементације његових резултата кроз развојне процесе, док преко 70% њих нема одређене буџете за ове активности.



Слика 28. Истраживачко развојне активности предузећа

Судећи према резултатима анкете, подстицаји који долазе са тржишта или од друштвених тенденција имају слабији потенцијал да подстакну предузећа да иновирају, у односу на интерне подстицаје који се углавном везују за циљеве опстанка, раста и развоја предузећа, при чему су предузећа углавном вођена краткорочном перспективом попут остваривања већег прихода или задржавања постојеће позиције на тржишту, ређе циљевима попут заузимања лидерске позиције, продора на нова тржишта и сл.

Резултати истраживања показују да су фактори који ограничавају иновативно деловање предузећа углавном интерне природе и тичу се успостављања и управљања иновационим активностима, што се пре свега односи на карактеристике интерних ресурса за покретање и реализацију иновационих процеса, при чему испитаници најчешће указују на недостатак интелектуалног потенцијала, недостатак финансијских средстава, финансијску нестабилност и лоше технолошке компетенције. У трећини испитаних предузећа ова ограничења произилазе из погрешних перцепција о значају иновативног деловања за одрживи раст и развој предузећа, при чему се сматра да тржиште не захтева нове производе, те да одржавање континуитета у иновирању није од пресудне важности.



Слика 29. Баријере у иновативном деловању предузећа

Такође, већина испитаних предузећа не показују тенденције ка успостављању тзв. отворених модела иновација, који подразумевају отварање иновационих процеса за прилив екстерних вредности (идеја, ресурса и технологија или информација са тржишта о потенцијалној вредности идеја) кроз различите облике сарадње. Уколико изузмемо предузећа за чије потребе су нове производе развијале специјализоване организације или су лиценцирани већ развијени производи у циљу даље комерцијализације (којих је око 25%), већина испитаних предузећа (52,63%) је производе развијала самостално, у оквиру сопствених истраживачко развојних потенцијала, прибегавајући традиционалним, затвореним моделима иновација. Док је прилив знања, технологија, финансијских и других ресурса кроз различите облике сарадње са другим пословним субјектима остварен у око 30% предузећа, такође предузећа у развоју производа ретко прибегавају сарадњи са специјализованим истраживачко развојним организацијама или научноистраживачким институцијама (око 20%).

Више од половине испитаних предузећа (57,52%) развој свог иновационог потенцијала базира на јачању технолошких компетенција, док око 40% њих иновациони потенцијал гради кроз улагање у сопствене истраживачко развојне процесе. Са друге стране систематизовани и организовани напори ка развоју интелектуалног потенцијала нису успостављени у већини испитаних предузећа, при чему тек 33% предузећа подржава оспособљавање запослених за истраживачко развојне процесе, док свега 15% њих ради на подстицању креативног духа код запослених. Такође, предузећа за јачање својих иновационих потенцијала ретко користе екстерне компетенције кроз различите облике отворених иновација.

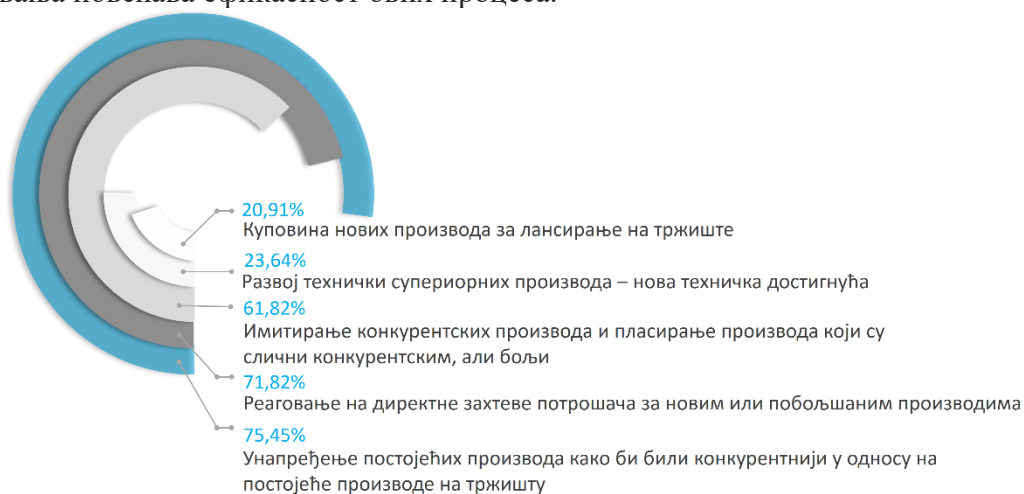
Процеси развоја нових производа

Резултати анкете указују на проблем недовољно формализованих и структурираних процеса развоја нових производа, у прилог чему говоре подаци да свега 36,75% испитаних предузећа следи формализоване процедуре, док се остатак ослања на неформалне праксе или делимично формализоване процесе, без успостављања одговарајућих система планирања, контроле и одлучивања. Што је супротно стандардима добре праксе, према којима формални и добро структурирани процеси развоја нових производа смањују неизвесност и поспешују ефикасност управљања, при чему се сугерише да ниво формализованости треба ускладити са потребама стандардизације и контроле и обезбедити флексибилност која је неопходна за суочавање са специфичним проблемима.

Ефикасно управљање међуфункционалним интеракцијама, сарадња и интеграција различитих извора знања се сматра најважнијим фактором успеха у развоју нових производа. Ово захтева одговарајуће форме организовања и ефикасне механизме крос-функционалне координације, који подржавају ефикасан трансфер знања, размену и

синхронизацију информација, отворену и интерактивну комуникацију између различитих функционалних група. Међутим, према резултатима анкете, оваква пракса је у предузећима српске прерађивачке индустрије заступљена тек у 28,57% испитаних предузећа. Иако се предразвојна фаза оцењује као кључна имајући у виду да повезује пословну стратегију, стратегију развоја и одлуке које се тичу производа, битно утичући на његов комерцијални успех, трајање развојног циклуса и трошкове развоја, судећи према резултатима истраживања, утицај ове фазе на крајњи исход иновационих процеса се занемарује. Наиме око 70% предузећа третира активности које обухвата (прелиминарна истраживања тржишта, генерисање и оцена идеја, пословна анализа) као активности ниског или средњег приоритета, на супрот томе, фокус је на техничким аспектима развоја производа, односно активностима пројектовања, развоја производних процеса и окружења, тестирању производа итд.

Према резултатима истраживања, мање од 20% испитаних предузећа примењује систематске процесе за генерисање и оцену идеја, док се већина ослања на делимично формализоване процедуре и неформалне система подршке или користи неформалну праксу, без одговарајућих система подршке. Што је у супротности са препорукама литературе, која способност предузећа да ефикасно идентификује, асимилира и процени информације о тржишним могућностима и новим технологијама или идеје које могу довести до диферентних и тржишно одрживих производа дефинише као кључну компетенцију у развоју нових производа. Иако однос између формализације овог дела иновационог процеса и крајњег успеха није нужно линеаран, дефинисање образаца интеракције, координације и комуникације, укључујући и успостављање одговарајућих система планирања и одлучивања повећава ефикасност ових процеса.

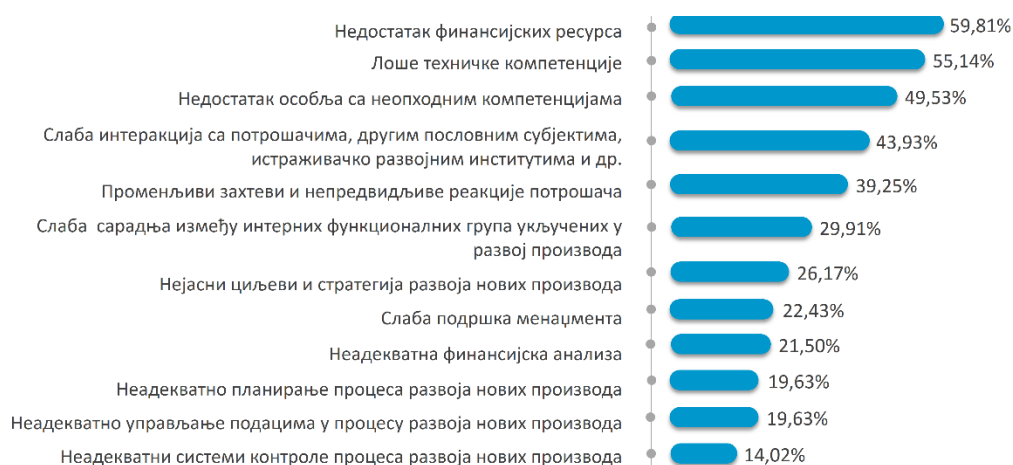


Слика 30. Стратегије развоја нових производа

Резултати указују да предузећа српске прерађивачке индустрије у мањем проценту (23,64%) следе стратегије оријентисане ка развоју технички супериорних производа, односно нових техничких достигнућа и иницирању технолошких промена. Насупрот овом приступу, предузећа чешће примењују реактивне стратегије, па је преко 70% њих усмерено на унапређења постојећих производа како би били тржишно пожељнији и пружили већу вредност за кориснике у односу на конкурентске производе, укључујући и респонзивне стратегије реаговања на директне захтеве потрошача за новим или побољшаним производима, док чак 60% предузећа развија производе сличне конкурентским или незнатно побољшане у односу на конкурентске. Циљеви којима се предузећа доминантно воде у конципирању нових производа се махом односе на стварање тржишно одрживих

производа (око 50%), међутим, за чак трећину испитаних предузећа најважније је да се производи развијају и производе искључиво у оквирима постојећих, интерних потенцијала.

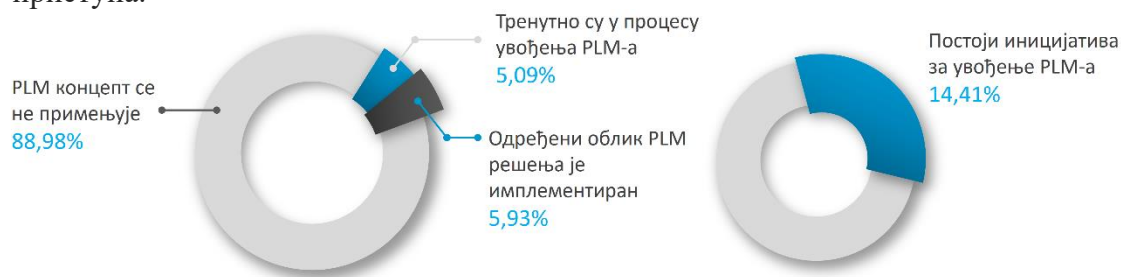
Што се тиче изазова у развоју производа са којима се предузећа суочавају, они су се углавном односили на проблем ограничених ресурса (у преко 50% предузећа) и то недостатак финансија, лоше технолошке компетенције, недостатак интелектуалног потенцијала. Преко 40% предузећа се суочава са проблемима екстерне интеграције (укључивање купаца и сарадња у ланцу снабдевања), док су се у 30% њих јављали проблеми у домену интерне интеграције (сарадња, размена и интеграција знања између различитих функционалних група укључених у развој производа). У случају 40% испитаних предузећа ови изазови су били екстерног карактера и односили су се непредвидиве реакције и променљиве захтеве потрошача.



Слика 31. Изазови у развоју нових производа

PLM концепт у предузећима српске прерађивачке индустрије

Резултати анкетног испитивања говоре у прилог претпоставци о ниском степену заступљености PLM приступа у предузећима српске прерађивачке индустрије. Наиме, на основу изјава испитаника, одређени облик PLM решења је имплементиран у свега 5,93% предузећа, док се 5,09% њих изјаснило да су тренутно у процесу увођења овог концепта. При чему упитник није укључио питања која би указала на постигнути ниво PLM зрелости, нити тренутну фазу имплементације, будући да анализе овог типа захтевају посебно дизајниране методологије чија примена није могућа кроз овакве видове истраживања. Такође, тек у 14,41% испитаних предузећа постоји одређени облик иницијативе за увођење овог приступа.



Слика 32. Заступљеност PLM приступа у предузећима српске прерађивачке индустрије

Резултати истраживања указују да би кључни разлог слабе заступљености PLM-а у Србији могао бити недовољно разумевање овог концепта и његових практичних импликација, наиме око 45% испитаника се изјаснило да не разуме у потпуности PLM и значај његовог увођења. Док скоро 40% испитаника сматра да њихове пословне потребе не захтевају тако

сложене платформе попут PLM-а, што говори у прилог чињеници да мала и средња предузећа имају потешкоће да разумеју сав потенцијал увођења технолошки подржаних пословних концепата. Разлог овоме је и недовољна зрелост процеса за увођење PLM-а, због чега предузећа често не препознају PLM као концепт који се може имплементирати у постојећу пословну праксу, док се опсежне организационе промене, које су у том случају неопходне, чине као предуг пут до имплементације PLM-а. Око 35% испитаника наводе недостатак стручног кадра који би подржао примену PLM-а као кључну баријеру имплементацији, док око 20% њих процењује да би постојао снажан отпор запослених према променама у начину рада који увођење PLM-а захтева.

Разлози попут недоступности софтверске подршке која би одговарала пословним потребама предузећа, адекватних програма обуке запослених се помињу у малом броју испитаних предузећа, слично је и са наводима да су у употреби решења попут ERP, PDM, САХ система, која се не могу интегрисати са стандардним PLM решењима. Ово говори у прилог чињеници да постоји прилично добра понуда PLM решења на домаћем тржишту, те да су предузећима доступна решења водећих светских PLM провајдера. Компаније које их заступају на српском тржишту пружају прилично развијену корисничку подршку, укључујући услуге консалтинга и програме обуке за запослене. Са друге стране, развој стандарда интероперабилности омогућио је функционалну интеграцију хетерогених пословних система и апликација за аутоматизацију инжењерских процеса и других пословних система, што решава проблем интегрисања наслеђених система са PLM-ом.

Резултати анкете упућују и на потенцијално недовољну технолошку и организациону спремност предузећа за увођење PLM-а, наиме у око 65% испитаних предузећа процедуре за управљање производима кроз њихов животни циклус нису формално описане и стандардизоване. Такође, пословни домени обухваћени PLM концептом попут управљања пројектима, управљања документацијом, управљања неусаглашеностима и управљања конфигурацијама, тренутно нису подржани специјализованим софтверским решењима у преко 65% испитаних предузећа.



Слика 33. Баријере у усвајању PLM приступа

Готово у свим предузећима која су увела или су у процесу увођења PLM решења постоји PLM стратегија која је јасно дефинисана и усклађена са пословном стратегијом, међутим ова стратегија није увек транспарентна ни преведена у акциони план. Такође у већини предузећа нису успостављени системи подршке за увођење PLM-а. Иако су у око две трећине ових предузећа запослени активно укључени у процес имплементације PLM-а, у преко 50% њих се сматра да запослени не разумеју у потпуности PLM концепт и његове практичне импликације. Штавише, већина предузећа није спроводила било какве видове обуке запослених. Судећи према резултатима анкете, имплементирани PLM системи не покривају све аспекте управљања животним циклусом производа, док углавном укључују функције управљања документима и подацима о производу, управљање конфигурацијама,

захтевима, пројектима и структурама производа је подржано у свега неколико имплементираних система. Када се ради о њиховој интеграцији са наслеђеним пословним системима, у свега неколико случајева ови системи су интегрисани са ERP системом или САХ алатима, док половина предузећа која користе MES системе, није успоставила везу између ових система и PLM-а.

4.3 Закључци изведени на основу иницијалног истраживања

Резултати анкетног испитивања упућују на низак интензитет иновационог деловања предузећа српске прерађивачке индустрије, ниске иновационе перформансе и недовољне пословне напоре ових предузећа да креирају, прилагоде или развију своје иновационе компетенције. При чему је иновационо деловање ових предузећа углавном усмерено на развој инкременталних иновација, реактивне стратегије и развој производа у оквиру традиционалних, затворених иновационих модела. Док се фактори ограниченог иновационог деловања предузећа углавном тичу управљања иновационим процесима, укључујући и погрешне перцепције о значају иновација за одрживи раст и развој предузећа.

У прилог претпоставци о недовољно развијеним иновационим потенцијалима ових предузећа говоре и потенцијални извори неефикасности у процесима развоја нових производа, на које резултати истраживања упућују, попут недовољно формализованих и структурираних процеса; одсуства одговарајућих система планирања, контроле и одлучивања; недовољне развијености механизма крос-функционалне координације и сарадње; занемаривања значаја и импликација предразвојне, тзв. *fuzzy front end* фазе на успех нових производа; недостатка формализованих процедура и система подршке за генерисање и оцену идеја итд. Укључујући и изазове са којима се предузећа у овим процесима суочавају, који се везују за проблем неефикасне екстерне и интерне интеграције.

Такође, резултати испитивања недвосмислено упућују на низак степен заступљености PLM приступа у српској прерађивачкој индустрији, при чему је број предузећа у којима је PLM приступ формално имплементиран готово занемарљив, чему треба додати да у највећем делу испитаних предузећа није успостављен било какав облик иницијативе за његово увођење. Уз то, емпиријски подаци прикупљени анкетним испитивањем упућују на недовољну технолошку и организациону спремност ових предузећа за увођење PLM-а, такође према резултатима истраживања може се претпоставити да се кључне баријере у усвајању овог приступа односе на недовољно разумевање његовог значаја и практичних импликација, недовољну зрелост пословних процеса за увођење PLM технологија и недостатак интелектуалног потенцијала за покретање и реализацију пројеката имплементације. Са друге стране, покренуте PLM иницијативе досежу само поједине аспекте PLM-а, без неопходног холистичког приступа, при чему се предузећа у овим процесима суочавају са проблемима који се тичу стратегије имплементације и недостатка одговарајућих система подршке за увођење PLM-а.

Сходно наведеном, резултати иницијалног истраживања:

- наглашавају важност подизања опште стручне свести о значају PLM-а и популаризације овог приступа међу предузећима српске прерађивачке индустрије;
- упућују на потребу за успостављањем приступа који ће на оптималан начин подржати имплементацију PLM концепта, узимајући у обзир актуелне изазове са којима се предузећа у овим процесима суочавају;
- указују да је питање подстицања иновативности малих и средњих предузећа нарочито актуелно у условима српске прерађивачке индустрије, што имплицира да стратешки фокус у усвајању различитих пословних и технолошких иницијатива сродних PLM-у мора бити на оснаживању иновационих потенцијала ППС-а.

5 ТЕОРИЈСКА РАЗМАТРАЊА О КОНЦЕПТУ И МЕТОДАМА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКОГ ОДЛУЧИВАЊА, ТЕОРИЈИ ФАЗИ СКУПОВА И QFD АНАЛИЗИ

У оквиру поглавља представљена су основна теоријска разматрања о фази скуповима, методама вишекритеријумског одлучивања и QFD методи. У оквиру прве целине дата су основна теоријска разматрања о концепту вишекритеријумског одлучивања са посебним акцентом на карактеристичне приступе моделовању различитих извора неизвесности у процесу одлучивања. У другој целини представљене су и коментарисане могућности примене теорије фази скупова у решавању проблема вишекритеријумског одлучивања. Надаље у поглављу представљене су методе вишекритеријумског одлучивања и QFD метода, коришћене у изградњи модела установљених у оквиру дисертације. Након концептуалног описа датог у почетном делу, у наставку је анализиран домен њихове примене и ограничења конвенционалних концепата и у складу са тим дати предлози методолошких модификација, након чега су формулисани математички модели и алгоритми примене метода.

5.1 Концепт вишекритеријумског одлучивања

Процес доношења одлука подразумева генерисање и евалуацију алтернатива на основу преференција доносиоца одлука према унапред дефинисаним циљевима одлучивања који обично укључују међусобно сукобљене интересе, стога реални проблеми одлучивања превазилазе једнодимензионални концепт заснован на преиспитивању само једне перспективе. Насупрот томе, неопходан је приступ који ће узети у обзир све релевантне аспекте одлучивања и омогућити консолидовање међусобно супротстављених циљева. Овакав приступ се заснива на вишедимензионалној анализи проблема одлучивања и подржан је кроз концепт вишекритеријумског одлучивања (енг. *Multi-Criteria Decision-Making – MCDM*). У својој основи вишекритеријумско одлучивање се заснива на преференцијама доносиоца одлуке у односу на доступне алтернативе које је могуће оценити или упоредити уз помоћ скупа атрибута, док се процес одлучивања заснива на агрегацији односно синтези ових, често конфликтних атрибута преведених у критеријуме одлучивања. При чему се тежи ка компромисном решењу, имајући у виду да у реалним проблемима одлучивања обично не постоји оптимално решење, односно алтернатива која се може сматрати најбољом према свим разматраним критеријумима с обзиром на њихову конфликтну природу.

У суштини, проблеми вишекритеријумског одлучивања се свode на евалуацију скупа алтернатива у систему више конфликтних критеријума, где се као исход очекује опис проблема, избор најповољније алтернативе, њихово рангирање, класификација или сортирање. Док се критеријуми посматрају као „стандарди просуђивања на основу којих се оцењује пожељност одређеног правца деловања (алтернативе).“³⁵ Критеријуми одлучивања се дефинишу и као правила или стандарди који усмеравају процес доношења одлуке. Вишекритеријумско одлучивање се дефинише као „процес евалуације стварних ситуација на основу више обично супротстављених критеријума у неизвесним или ризичним околностима како би се пронашао одговарајући избор, правац акције или стратегија међу више доступних опција.“³⁶ Снага овог приступа лежи у могућности да се прилагоди неструктурираној природи проблема одлучивања у реалном свету, омогући консолидацију више, међусобно конфликтних и често несразмерних критеријума одлучивања, обезбеди

³⁵ Zavadskas и др. (2014)

³⁶ Raju и Kumar (2013)

холистички приступ заснован на вишедимензионалној анализи проблема одлучивања и превазиђе проблем субјективизма у процесу доношења одлука.

Процес вишекритеријумског одлучивања укључује следеће кораке:

1. „Експлицитно дефинисање проблема и циља вишекритеријумског одлучивања;
2. Генерисање и анализа алтернатива за постизање циљева одлучивања;
3. Дефинисање критеријума/атрибута/индикатора за мерење перформанси алтернатива;
4. Спровођење анализа у циљу прикупљања података;
5. Развој матрице одлучивања;
6. Генерисање субјективних или објективних тежина критеријума;
7. Рангирање алтернатива и интерпретација резултата;
8. Доношење одлуке.“³⁷

Парадигма вишекритеријумског одлучивања се од стране међународног MCDM друштва дефинише као проучавање метода и процедура уз помоћ којих се вишеструки, конфликтни критеријуми могу укључити у процес одлучивања. Темељи ове парадигме постављени су крајем 1960-их, али су истраживања у овој области значајнији раст доживела тек 1980-их 1990-их, што је резултирало великим бројем алата и методологија за подршку вишекритеријумском одлучивању (табела 5).

Табела 5. Преглед метода вишекритеријумског одлучивања

Методe вишекритеријумског одлучивања		Референце
AHP	Analytic Hierarchy Process	[357]
ARAS	Additive Ratio ASsessment	[472]
CoCoSo	COmbined COmpromise Solution	[457]
COPRAS	COmplex PROportional ASsessment	[476]
DEMATEL	DEcision MAKing Trial and Evaluation Laboratory	[143]
EDAS	Evaluation based on Distance from Average Solution	[226]
ELECTRE	ELimination Et Choice Translating REality	[355]
FLAG	-	[303]
LINMAP	LINear programming techniques for Multidimensional Analysis of Preference	[389]
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique	[123]
MAPPAC	Multicriterion Analysis of Preferences by means of Pairwise Alternatives and Criterion comparisons	[275]
MARCOS	Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution	[395]
MAUT	Multi-Attribute Utility Theory	[221]
MOORA	Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis	[51]
MULTIMOORA	MULTIpllicative form of Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis	[52]
NAIADE	Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments	[294]
ORESTE	Organisation, rangement et Synthèse de données relationnelles	[354]
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation	[48]
SAW	Simple Additive Weighting	[262]
SMAA	Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis	[239]
SMART	Simple Multi-Attribute Rated Technique	[432]
SWARA	Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis	[225]
TODIM	TOmada de Decisão Interativa e Multicritério	[158]
TOPSIS	Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution	[190]
TROP	Technique of Precise Order Preference	[24]
ВИКОР	ВИшекритеријумско КОмпромисно Рангирање	[310]

³⁷ Yoe (2002)

Интересовање за развој и имплементацију ових метода се задржало до данас, према *Zavadskas* и др. [477] протеклих неколико деценија карактеришу интензивна истраживања у овој области усмерена на: 1) развој формалних модела одлучивања попут процедура и парадигми селекције, 2) успостављање различитих методологија процене (процена и скалирање индивидуалних преференција, субјективне вероватноће итд.) и 3) теорије евалуације укључујући претпоставке о преференцијама или вредностима и структурирање њихове репрезентације.

Према *Zavadskas* и *Turskis* [473] методе вишекритеријумског одлучивања омогућавају:

- „Евалуацију перформанси алтернатива према разматраним критеријумима;
- Агрегацију оцена перформанси алтернатива;
- Рангирање алтернатива у зависности од тога колико задовољавају критеријуме;
- Прихватање једне алтернативе као најпожељније;
- Прикупљање информација и спровођење наредних итерација уколико добијено решење није прихваћено и
- Пружање препорука за доношење коначне одлуке.“³⁸

И поред тога што примена метода вишекритеријумског одлучивања процес одлучивања чини експлицитнијим и рационалнијим пружајући структуриране приступе који доносиоцима одлука омогућавају да процене релативну важност различитих елемената одлучивања, многе студије у овој области верификују одређене проблеме који прате њихову примену. Рецимо, примена различитих метода вишекритеријумског одлучивања на истом проблему може резултирати различитим исходом процеса одлучивања, што је према *Zavadskas* и *Turskis* [473] последица покушаја скалирања критеријума, употребе различитих алгоритама агрегације, различитог утицаја пондера на модел одлучивања услед различитих правила агрегације и коришћења додатних параметара који утичу на избор решења. *Mutikanga* [295] указује на још неке од њих:

- „Проблем неупоредивости алтернатива; такође алтернативе се често свODE на једну апстрактну вредност због чега се током агрегације губе корисне информације;
- Проблем компензационих ефеката између критеријумима, лоше преференције алтернативе у односу на одређени критеријум не могу бити компензоване dobrим преференцијама према неком другом критеријуму;
- Проблеми у избору одговарајућег начина за исказивање субјективних преференција;
- Проблеми у домену структурирања проблема одлучивања - изостављање или увођење нових критеријума често доводи до потпуног преокрета ранга;
- Проблем неизвесности својствених процесу одлучивања, пре свега у домену моделовања и исказивања преференција;
- Ефекти скалирања критеријума на крајњи исход процеса одлучивања.“³⁹

Потреба за превазилажењем слабости или недовољно разрађених аспекте метода вишекритеријумског одлучивања условила је нове правце истраживања са тенденцијом увођења методолошких унапређења кроз модификације њихових конвенционалних модела.

5.1.1 Приступи у класификацији метода вишекритеријумског одлучивања

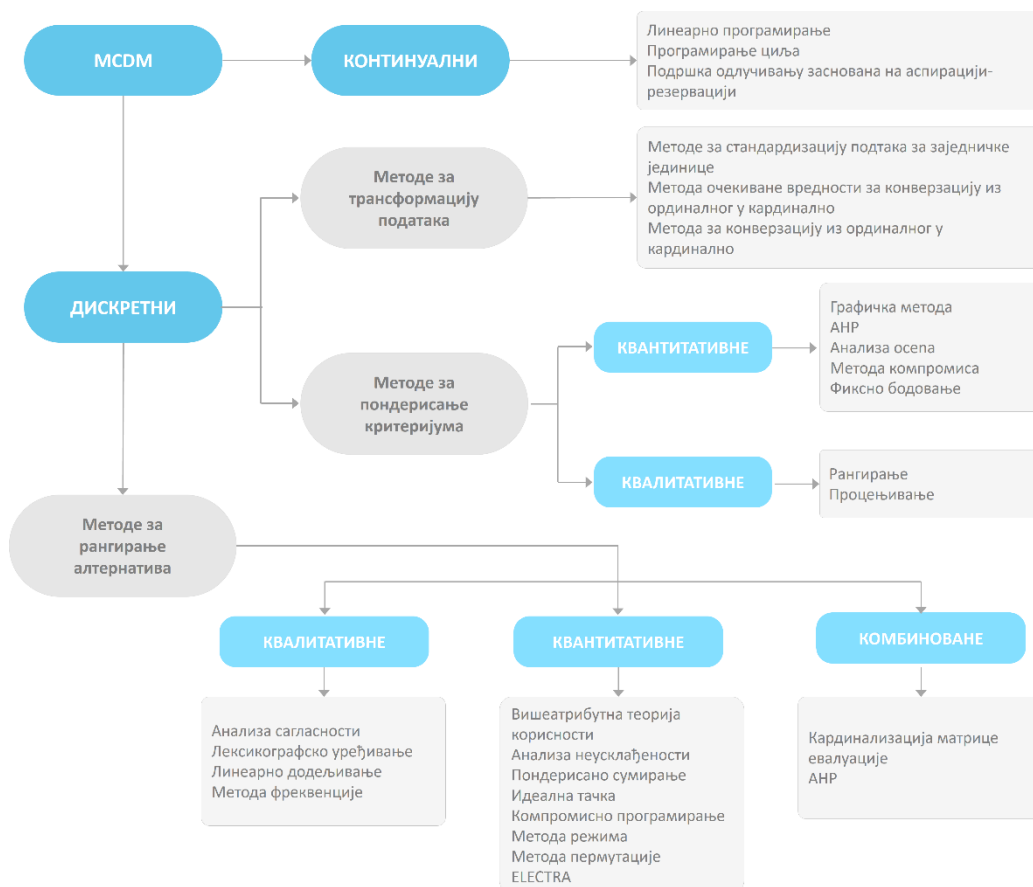
Паралелно са развојем метода и процедура за решавање проблема вишекритеријумског одлучивања различите природе, развијају се и различити приступи у њиховој класификацији, при чему су основне класификације у односу на врсту иницијалних података и специфичности проблема одлучивања.

³⁸ *Zavadskas* и *Turskis* (2011)

³⁹ *Mutikanga* (2012)

У зависности од типа иницијалних података које користе, *Larichev* [241] методе вишекритеријумског одлучивања дели на:

- Методе које користе податке квантитативног типа (TOPSIS, COPRAS, ARAS);
- Методе које као иницијалне податке користе квалитативне варијабле које се превode у квантитативне вредности (АНР, АНР итд.);
- Методе које као иницијалне податке користе компаративне преференције (PROMETHEE, ВИКОР, ELECTRE итд.) и
- Методе које се заснивају на употреби квалитативних података без њихове квантификације.



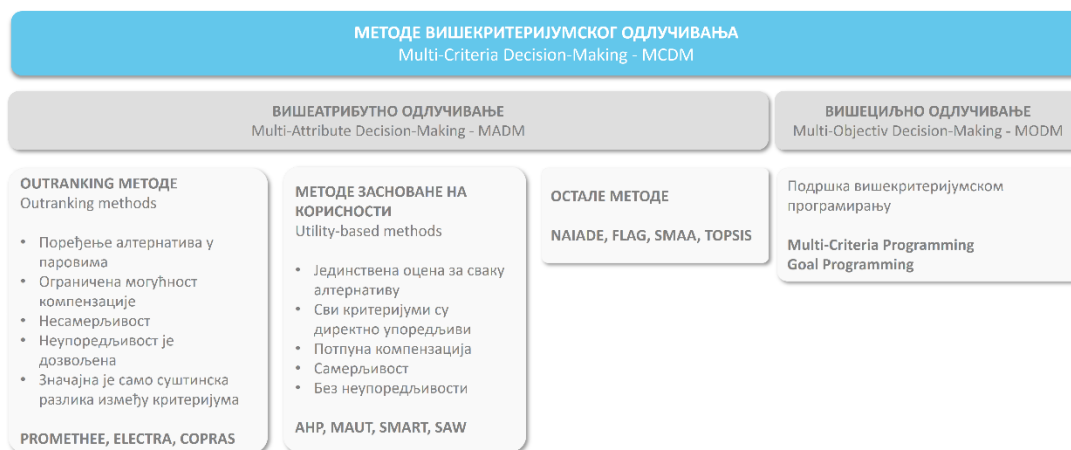
Слика 34. Класификација метода вишекритеријумског одлучивања према проблему одлучивања [166]

Hajkowicz и др. [166] класификују ове методе према природи проблема одлучивања, дефинишући их као 1) континуалне код којих се вредности променљиве одлучивања дефинишу над континуалним доменом и карактерише их бесконачан број алтернатива и 2) дискретне, дефинисане коначним бројем алтернатива и атрибута који их описују.

За решавање континуалних проблема одлучивања примењују се методе попут линеарног програмирања итд. док се у домену дисконтинуалних проблема одлучивања користе 1) методе за трансформисање података, 2) методе за приоритизацију критеријума и 3) методе за рангирање алтернатива. Њихова дубља подела у зависности од иницијалних података које користе приказана је на слици 34.

Природа проблема одлучивања одређује тип модела вишекритеријумског одлучивања који ће бити примењен, *Hwang* и *Yoon* [190] ове моделе класификују на:

- Вишециљно одлучивање (енг. *Multi-Objective Decision-Making – MODM*);
- Вишеатрибутно одлучивања (енг. *Multi-Attribute Decision-Making - MADM*).



Слика 35. Класификација метода вишекритеријумског одлучивања према моделу одлучивања [325]

Код вишеатрибутног одлучивања, проблем одлучивања је дефинисан дискретним, коначним бројем алтернатива које карактерише дискретан сет атрибута преведених у систем критеријума оцене алтернатива. Према *Zavadskas* и *Turskis* [473], процес решавања дискретних проблема вишекритеријумског одлучивања укључује кораке:

1. „Формулација проблема;
2. Селекција критеријума и генерисање алтернатива;
3. Разматрање, усаглашавање и прихватање критеријума и алтернатива;
4. Оцена алтернатива;
5. Формирање матрице одлучивања;
6. Избор методе вишекритеријумског одлучивања, обједињавање преференција доносиоца одлука;
7. Примена одабране методе вишекритеријумског одлучивања;
8. Анализа осетљивости и робусности, препоруке и анализа резултата.“⁴⁰

Метод вишеатрибутног одлучивања најчешће следе два приступа у исказивању преференција, укључујући приступ заснован на корисности и *outranking* приступ.

Метод заснован на корисности (Utility-based methods)

„Теорија корисности разматра преференције, претпоставке и суд о преференцијама, вредностима или другим сличним концептима представљеним на нумерички корисне начине.“⁴¹ Према овом концепту одлучивања свакој од последица алтернативног правца деловања додељује се корисност која одражава њихову пожељност, док се одлуке заснивају на максимизацији очекиване корисности. Ове методе подразумевају успостављање функције корисности која ће омогућити да се преференције доносиоца одлука искажу на рационалан начин. Неке од најчешће коришћених метода заснованих на концепту корисности су SAW, SMART, MAUT и ANP.

Метод заснован на корисности испољавају одређене слабости које често доводе до недоследних процена, према *Hashimoto* и др. [172] оне се пре свега испољавају у домену успостављања функције корисности, при чему се полемише у којој мери функције корисности одражавају преференције других заинтересованих страна и да ли укључују ставове доносиоца одлука према ризику. *Hillier* [182] указује да се већина ових метода ослања на претпоставку преференцијалне независности, према којој рецимо преферентност

⁴⁰ *Zavadskas* и *Turskis* (2011)

⁴¹ *Fishburn* (1965)

једног критеријума над другим не зависи од осталих критеријума, што није у складу са природом већине реалних проблема одлучивања. Као још једну од критика ових метода Brans [47] наводи да доносиоцима одлука намећу оптимално решење не остављајући им могућност да укључе субјективно расуђивање или искуство, указују и на проблем компензационих ефеката између јаких и слабих критеријумима.

Outranking metode

Outranking методе се темеље на анализи преференцијалних односа између алтернатива, избегавајући изградњу компликованих и тешко изводљивих функција корисности, уместо тога пружају могућност исказивања преференција на структуриранији начин, који се темељи на поређењу алтернатива по паровима и обезбеђују методологију за обједињавање преференција исказаних према различитим критеријумима одлучивања у укупну структуру преференција. Међу најпопуларнијим *outranking* методама су PROMETHEE, COPRAS и ELECTRE. Слабост ових метода се односи на некомпензаторну природу преференција, наиме велика разлика у преферентности једне алтернативе у односу на другу, према одређеном критеријуму, не може бити компензована истим разликама супротног смера.

5.1.2 Приоритизација критеријума у процесу вишекритеријумског одлучивања

Већина метода вишекритеријумског одлучивања подразумева да се критеријуми у процесу одлучивања третирају са различитим приоритетом који варира у зависности од циља одлучивања и преференција доносиоца одлуке. Ово подразумева извођење приоритета критеријума у виду тежинских коефицијената као мере њихове релативне важности и њихову агрегацију у укупну структуру преференција алтернатива. Према Choo и др. [83] формулације попут *градијент функције укупне вредности, параметри који се користе у интерактивној оптимизацији, релативни функционални значај критеријума, фактори скалирања који се трансформишу у сразмерну укупну вредност*, само су неке од интерпретација значења термина тежина критеријума, при чему ове тежине могу бити дате у ординалним, размерним или интервалним скалама.

Приоритизација критеријума се сматра најважнијим делом процеса вишекритеријумског одлучивања имајући у виду да постоји знатна осетљивост модела у односу на тежинске коефицијенте критеријума, што значи да чак и мање измене у овим вредностима могу значајно утицати на крајњи поредак алтернатива. Процедуре утврђивања тежинских коефицијената критеријума се у литератури помињу под различитим терминима, као што су *приоритизација критеријума, пондерисање критеријума, одређивање релативне важности критеријума* итд. До сада је развијено више приступа у извођењу и интерпретацији приоритета критеријума, при чему се ови приступи према Wang и др. [434] могу поделити на субјективне, објективне и комбиноване.

Код субјективних приступа приоритети критеријума се генеришу на основу субјективних преференција доносиоца одлуке, при чему се тежински коефицијенти из података о преференцијама изводе применом математичких модела. Овакви приступи се често боре са проблемима неизвесности који произилазе из чињенице да доносиоци одлуке стварају суд о релативном значају критеријума располажући често недовољно прецизним и двосмисленим подацима о проблему одлучивања што изазива одређену несигурност, такође у процесу одлучивања обично егзистира већи број међусобно конфликтних критеријума, што отежава исправно разумевање њихових међусобних релација утичући на појаву недоследности процена. Неке од најчешће коришћених метода из ове категорије су ANP, ANP, Delphi, SMART, метода најмањег квадрата и друге.

Објективни приступи приоритизацији се не ослањају на ставове доносиоца одлука, већ се приоритети критеријума генеришу директно из матрице одлучивања применом математичких модела. С обзиром да изведени приоритети не одражавају субјективне преференције доносиоца одлуке, често се доводи у питање њихова релевантност. Као представници објективног приступа у приоритизацији критеријума се помињу *Entropy* метода, коефицијент варијације, коефицијент вишекритеријумске корелације итд. Поред наведених у употреби су и хибридизације претходна два модела.

Такође, различити модели одлучивања подразумевају различите приступе у приоритизацији критеријума. Тако рецимо, *Polatidis* и др. [325] објашњавају да према концепту *outranking* метода, тежине критеријума нису константе скале које вредност различитих критеријума стављају у иста мерења, већ је то мера релативног значаја одређеног критеријума. Са друге стране, код метода заснованих на корисности, тежински коефицијенти критеријума су еквивалентни стопи њихове међусобне компензације, указујући на меру корисности у односу на један критеријум која омогућава да се надоместе лоше перформансе према другом критеријуму.“

Један од најприкладнијих начина за исказивање преференција у процесу приоритизације критеријума је путем преференцијалних односа или односа релативне важности критеријума, што је у суштини најближе човековом начину размишљања. Овакав концепт је заступљен у оквиру методе упоредног поређења (енг. *Pairwise Comparison Method*), која подразумева поређење критеријума по паровима у циљу утврђивања односа релевантне важности за сваки упоређивани пар и резултира матрицом преференцијалних односа.

Ради се о психометријској техници за коју *Zardari* и др. [470] кажу да је научно утемељена и најтранспарентнија методологија за приоритизацију критеријума. Њена снага заправо лежи у томе што од доносиоца одлуке захтева да детаљно размотре све аспекте проблема одлучивања [166]. Методу прате и одређене критике, наиме сам процес може резултирати великим бројем поређења што је чини неефикасном. Овај проблем је могуће превазићи свођењем броја упоређиваних критеријума на разумну меру.

Међутим критике се чешће везују за недоследност људског размишљања што често доводи до неконзистентних матрица преференцијалних односа. Због чега се уводе процедуре за проверу конзистентности процена и оставља могућност за њихово понављање. И поред тога, овај проблем и даље оптерећује доносиоце одлука усмеравајући их више ка постизању прихватљивог нивоа конзистентности процена него ка веродостојном презентовању унутрашњих перцепција. Извесни проблеми се везују и за несигурности повезане са људским когнитивним процесом, пре свега немогућност људи да искажу своје перцепције на апсолутно прецизан начин нарочито у ситуацијама које су недовољно дефинисане или превише сложене. Међутим, овај проблем се успешно превазилази применом различитих методолошких приступа за моделовање неизвесности и неодређености у исказивању преференција, међу којима најбоље резултате дају приступи базирани на теорији фази скупова.

Приступ исказивања преференцијалних односа критеријума кроз концепт упоредног поређења заступљен је у АНР методи, што је уједно и најчешће коришћена метода у области приоритизације критеријума. Аутори дају различита виђења по питању решавања проблема извођења приоритета критеријума из овако исказаних преференцијалних односа. Један од најчешће коришћених је метода сопственог вектора коју *Saaty* [357] користи у оквиру АНР поступка у оквиру ког су преференцијални односи описани односима релативних важности, односно матрицом поређења по паровима. Након чега се одређивањем сопствених вредности изводе нормализовани тежински вектори. „Тежине критеријума дефинисане у

облику вектора тежинских коефицијената представљају размеру или однос међу самим критеријумима.“⁴²

Wang и Chin [436] предлажу модификацију методе сопственог вектора, увођењем новог LPAEM приступа (*Linear Programming Approximation to the Eigenvector Method*). Предложени приступ поједностављује процес решавања система нелинеарних једначина сопствене вредности његовим свођењем на проблем линеарног програмирања, при чему се обезбеђује прилично конзистентна матрица поређења по паровима.

Поред наведених приступа, најчешће коришћене технике у литератури су: метода најмањих квадрата (енг. *Least Squares - LS*) [358]; метода логаритамски најмањих квадрата (енг. *Logarithmic Least Squares - LLS*) [96]; метода програмирање циљева (енг. *Goal Programming - GP*) [56]; метода програмирања фази преференција (енг. *Fuzzy Preference Programming*) [285]; метода линеарног програмирања (енг. *Linear Programming - LP*) [71]; метода најмањег одступања (енг. *Least Deviation - LD*) [453].

Аутори дају и додатна виђења решења поменутог проблема, која су базирана на модификацији традиционалних техника или увођењу потпуно нових концепата, па тако Ye-jun и Qing-li [458] уводе методу пондерисаног најмањег квадрата (енг. *Weighted Least Square - WLS*) и методу квадратног програмирања (енг. *Quadratic Programing - QP*) за приоритизацију непотпуних комплементарних матрица процене. Gong [159] развија модел за добијање колективног приоритетног вектора из непотпуних преференцијалних односа, применом технике најмањих квадрата. На темељима овог приступа Xu и др. [452] развијају модел базиран на техници логаритамски најмањих квадрата за приоритизацију у групном одлучивању са непотпуним фази преференцијалним односима. Yang и Wang [455] предлажу примену технике геометријског најмањег квадрата (енг. *Geometric least square*) за одређивање вредности тежинских интервала од фази интервалних преференцијалних односа, док Hafezalkotob и Hafezalkotob [165] уводе тзв. *fuzzy entropy-weighted MULTIMOORA* методу, базирану на примени концепта ентропије у фази окружењу.

5.1.3 Моделирање неизвесности у процесу вишекритеријумског одлучивања

Према Stewart и Durbach [396] неизвесност одлучивања се у ужем смислу везује за недостатак знања о појави за њено потпуно разумевање. У ширем смислу Stewart и Durbach [396] дефинишу две димензије неизвесности, унутрашњу која се везује за процес анализе проблема и редукује се кроз његово боље структурирање или анализу осетљивости, и спољашњу која је проузрокована природом окружења и ван домена је доносиоца одлуке.

Кључне неизвесности у вишекритеријумском одлучивању се пре свега везују за проблем процене и моделирања преференција, односно немогућност репрезентовања перцепција или знања о појави на апсолутно прецизан начин, недоследност људског резонувања и недостатак квантитативних мера. Већина метода вишекритеријумског одлучивања се базира на моделирању преференција кроз увођење пондера. Међутим, проблеми одлучивања у стварном свету су исувише сложени да би се могли квантитативно описати на одговарајући начин. Са друге стране, преференције се често не могу прецизно проценити на основу објективних информација, егзактно исказати или аналитички објаснити, будући се често заснивају на непрецизном знању доносиоца одлука о проблему. Такође начин размишљања и емоционално стање доносиоца одлуке имају велики утицај у овом процесу и могу проузроковати недоследност и несигурност при исказивању преференција.

⁴² Чупић и Сукновић (2010)

„Стога се у исказивању преференција у ситуацијама које су недовољно дефинисане или превише сложене да би се могле веродостојно описати на конвенционалан начин применом квантитативних варијабли, прибегава примени варијабли чије су вредности исказане лингвистичким изразима.“⁴³ Концепт лингвистичких варијабли помаже људима да исказу своје преференције у складу са њиховим резоновањем и разумевањем проблема.

Међутим, конвенционална квантификација ових израза, додељивањем јасних нумеричких вредности није у складу са људским начином размишљања, имајући у виду његову недоследност, нарочито у ситуацијама када се користе приближне или непотпуне информације. Много ближа људском начину размишљања је теорија фази скупова коју представља Zadeh [463]. Теорија фази скупова представља ефикасан математички алат за моделовање несигурности повезаних са људским когнитивним процесом „омогућавајући конверзију људских перцепција датих у облику лингвистичких исказа у аритметички облик представљањем нејасних података уз помоћ интервалних вредности“⁴⁴ тј. увођењем фази бројева. Применом теорије фази скупова узима се у обзир недоследност и несигурност расуђивања у процесу исказивања преференција.

За разлику од класичне теорије скупова која дозвољава само потпуну припадност скупу или њено одсуство, теорија фази скупова дозвољава делимичну припадност, чиме се узме у обзир непрецизност и несигурност расуђивања у процесу одлучивања. Наиме, за разлику од класичне функције припадности према којој се сваки елемент скупа пресликава на $\{0,1\}$ односно елемент припада (1) или не припада (0) скупу, фази функција припадности елементе скупа пресликава на реални интервал $[0,1]$. „Теорија фази скупова пружа већи ниво флексибилности увођењем појма *степен* у верификацији услова припадности скупу што омогућава да услов буде у стању које није искључиво *тачно* или *нетачно*.“⁴⁵

Теорију фази скупова развио је Zadeh [463], при чему као конвенционални облик фази скупова Zadeh дефинише тзв. фази скупове типа-1 (енг. *type-1 fuzzy set*), који дозвољавају да се сваком елементу из референтног скупа додели једна вредност функције припадности из интервала $[0,1]$. Међутим овакав облик фази скупова није успео да се суочи са ситуацијама у којима постоји висок ниво неодређености по питању припадности елемента неком скупу због чега се вредност функције припадности обично не може изразити као један јасан број.

Како би се превазишао овај проблем, развијене су различите модификације конвенционалног облика фази скупова, међу којима највећу примену имају фази скупови типа-2 (енг: *type-2 fuzzy set*) које је установио Zadeh [464]. За разлику од конвенционалног облика карактерише их функција припадности која је сама по себи фази, што пружа већу слободу у исказивању степена припадности скупу и боље се носи са несигурностима које се у том погледу могу јавити. Теорија неодлучних фази скупова (енг. *hesitant fuzzy set*) које је развио Torra [415] представља још један облик модификације конвенционалних фази скупова и проширује опсег функције припадности омогућавајући да се у ситуацијама када постоји оклевање по питању степена припадности скупу обухвати било који произвољни подскуп интервала $[0, 1]$, наиме дозвољава да се сваком елементу додели неколико вредности функције припадности. Међутим уколико се нека вредност понавља, подаци о таквом понављању се губе, због тога се као надоградња ових скупова појављују фази мултискупови (енг. *fuzzy multisets*), уз помоћ којих је могуће избећи губљење оваквих података [290]. У употреби су и други облици фази скупова, којима се на одговарајући начин моделирају неизвесности у процесима вишекритеријумског одлучивања.

⁴³ Ustinovichius и др. (2010)

⁴⁴ Zadeh (1965)

⁴⁵ Dernoncourt (2013)

5.2 Примена теорије фази скупова у вишекритеријумском одлучивању

Истраживања у области примене теорије фази скупова у вишекритеријумском одлучивању су у последње две деценије доживела интензиван раст, при чему се очекује да ће се овај тренд наставити. Ово је пре свега повезано са снагом фази скупова да превазиђе проблеме неодређености и недоследности у исказивању и моделирању преференција, омогућавајући да се проблеми доношења одлука решавају на флексибилнији начин. Објашњавајући зашто су фази системи погодни за моделирање неизвесности у процесима одлучивања, *Kahraman* и др. [211] наводе да фази системи помажу у исказивању преференција о појави која се разматра у ситуацијама са процењеним вредностима или несигурним информацијама, такође су погодни за несигурно или приближно резонување, нарочито за систем са математичким моделом који је тешко извести.

До сада је реализован велики број истраживања усмерених на развој и имплементацију модела фази вишекритеријумског одлучивања за решавање различитих оптимизационих проблема. Избор функције припадности у фазификацији конвенционалних метода вишекритеријумског одлучивања се може сматрати проблемом самим за себе, при чему је најчешћи приступ заснован на фази скуповима типа-1. Дозвољавајући чланство унутар интервала, између две реалне вредности, ови фази скупови су омогућили лакше прилагођавање неодређеностима инхерентним процесима одлучивања, због чега налазе честу примену у проблемима вишекритеријумског одлучивања. У литератури је могуће пронаћи велики број модела вишекритеријумског одлучивања комбинованих са теоријом фази скупова типа-1, неки од примера приказани су у наставку.

Galankashi [145] предлажу модел одлучивања за одабир добављача у аутомобилској индустрији заснован на BSC оквиру и АНР методи са математичким моделом развијеним у окружењу фази скупова типа-1. За анализу ризика у пројектима имплементације ERP система *Nigam* и др. [302] уводе процес заснован на COPRAS методи у оквиру кога се нејасноће и субјективизам обрађују уз помоћ лингвистичких термина параметризованих троугластим фази бројевима. *Dahooie* и др. [102] користе MULTIMOORA методу за одабир најбоље методе за предвиђање технологија у авио индустрији, у односу на конвенционални модел, тежине критеријума и перформансе алтернатива су описане фази скуповима типа-1. *Петровић* и др. [319] предлажу EFQM/FBWM/FMOORA интегрисани модел за евалуацију пословне изврсности у условима неодређености, релативни значај критеријума квалитета и њихове вредности се у моделу представљају унапред дефинисаним лингвистичким изразима моделираним троугластим фази бројевима. *Bhatt* и др. [34] комбинује факторску анализу и АНР методу засновану на троугластим фази бројевима типа-1 за проблем избора ERP система. *Goumas* и *Lygerou* [160] предлажу модел за оцену сценарија експлоатације алтернативних извора енергије заснован на PROMETHEE методи проширеној са фази скуповима типа-1 за моделирање нејасних улазних података. *He* и др. [177] уводе оквир за анализу и мерење сложености пројеката заснован на фази АНР методи, за исти проблем *Nguyen* [298] користе АНР методу интегрисану са фази скупови типа-1 за моделирање инхерентних неодређености.

У примени су и други приступи хибридизацији метода вишекритеријумског одлучивања, чији су математички модели развијени применом различитих форми фази скупова који проширују опсег функције припадности у односу на конвенционални облик, остварујући боље ефекте у моделовању неизвесности инхерентних процесима одлучивања, пример су *Pythagorean fuzzy* [189], *intuitionistic hesitant fuzzy* [150], *interval-valued spherical fuzzy* [20], *interval-valued hesitant fuzzy linguistic set* [486], *q-rung orthopair fuzzy* [480].

Као једна од алтернатива конвенционалном облику фази скупова, предлажу се IT2F скупови који „омогућавају лакше суочавање са ситуацијама у којима постоји несигурност по питању

припадности елемената скупу, захваљујући функцији припадности која је сама по себи фази.⁴⁶ „IT2F скупови представљају уобичајено решење за унапређење конвенционалних метода вишекритеријумског одлучивања, подстичу доносиоце одлука да користе језичке изразе за процену релевантне важности атрибута и њихових вредности.“⁴⁷ Штавише сматрају се корисним за практичне примене, захваљујући математичкој једноставности.

У литератури се може пронаћи велики број радова у којима се предлажу модели који комбинују методе вишекритеријумског одлучивања са теоријом IT2F скупова. Преглед модела дат у наставку се ослања на резултате анализе приказане у раду Пузовић и др. [332] Dorfeshan и др. [119] предлажу приступ одређивању критичног пута пројекта заснован на методама вишекритеријумског одлучивања MULTIMOORA и MOOSRA (*Multi-Objective Optimisation on the basis of Simple Ratio Analysis*), док се за моделирање неодређености у пројектном окружењу користе IT2F скупови. Одабир инвестиционих пројеката у области управљања обновљивим изворима енергије Wu и др. [447] заснивају на PROMETHEE II методи проширеној са IT2F скуповима за моделирање неизвесности својствених проблемима инвестиционог одлучивања. Весих Васовић и др. [426] предлажу модел који интегрише АНР и теорију IT2F скупова за описивање нејасних преференција за проблем избора партнера у истраживачко развојним пројектима. Сличан модел је у студији [330] коришћен за приоритизацију критеријума евалуације пројеката, док је у студији [329] примењен за проблем одабира концепта новог производа. Алексић и др. [7] предлажу модел за оцену и рангирање отказа у производним процесима заснован на комбинацији *Best-Worst Method* (BWM) и ВЕКОР метода, за описивање неизвесности аутори користе IT2F скупове. Qin и Ma [337] предлажу модел за процену плана реаговања у ванредним ситуацијама заснован на MULTIMOORA методи, док за моделовање неизвесних варијабли које егзистирају у проблему користе IT2F скупове засноване на PT³ теорији (*third generation prospect theory*). Baykasoğlu и Gölcük [30] уводе модел вишекритеријумског одлучивања за проблеме SWOT базираног избора стратегије у ситуацијама неизвесности. Модел интегрише DEMATEL методу за анализу зависности између атрибута проблема, и TOPSIS методу за генерисање коначног ранга алтернатива, док се за описивање неизвесности у моделу користи теорија IT2F скупова. Boral и Chakraborty [42] предлажу приступ анализи ризика заснован на модификованој *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) методи. Приступ уводи модел вишекритеријумског одлучивања за одређивање приоритета ризика интегрисан са теоријом IT2F скупова за моделирање субјективних неодређености. У том контексту, модел интегрише IT2FАНР за извођење тежина фактора ризика, IT2FDEMATEL за моделовање узрочно-последичних интеракција између фактора, док је за рангирање ризика коришћена IT2FMARCOS метода. Како би превазишли проблем неодређености у процесу вишекритеријумског одлучивања Ghorabae и др. [152] користе EDAS методу развијену у IT2F окружењу.

У наставку је представљен концепт фази скупови типа-1 и типа-2, који су у истраживању коришћени за моделирање неодређених преференција у приоритизацији атрибута у разматраним проблемима вишекритеријумског одлучивања.

5.2.1 Концепт фази скупова типа-1

Према Van Laarhoven и Pedrycz [422], фази скупови представљају проширење идеје интервала поверења. Дефинишимо $\tilde{A} = (l, m, u)$ као фази подскуп скупа X , нека је $\tilde{A}$ конвексан фази скуп који карактерише затворен интервал поверења $[l, u]$. При чему параметри l, m, u означавају најмању, најперспективнију и највећу могућу вредност која

⁴⁶ Mendel и др. (2006)

⁴⁷ Алексић и Тадић (2023)

описује фази догађај, такође важи $l \leq m \leq u$. Тада фази скуп $\tilde{A}$ карактерише функција припадности $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0,1]$:

$$\tilde{A} = \left\{ \left((x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X \right) \right\} \quad (1)$$

При чему је x елемент универзалног скупа X ($x \in X$). Такође фази подскуп $\tilde{A}$ скупа X може бити престављен као:

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}}(x_i) / x_i \quad (2)$$

Док за континуиране случајеве важи:

$$\tilde{A} = \int_X \mu_{\tilde{A}}(x) / x \quad (3)$$

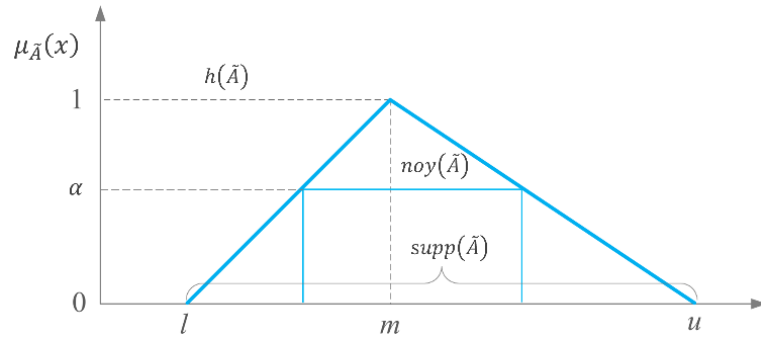
Фази функција припадности може узети различите облике: троугласти, трапезоидни, хиперболични, сигмоидни, експоненцијални, тангентни, Гаусов итд. У раду је представљен концепт фази броја типа-1 чија функција припадности има троугласти облик (енг. *Triangular Fuzzy Number – TFN*), као један од најчешће примењиваних облика у фазификацији метода вишекритеријумског одлучивања. Функција припадности TFN броја ($\tilde{A} = (l, m, u)$), може бити представљена као:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-l}{m-l}, & x \in [l, m], \\ \frac{x-u}{m-u}, & x \in [m, u], \\ 0, & x < l, x > u \end{cases} \quad (4)$$

Из овога следи да функција припадности TFN бројева, има следеће карактеристике:

- $\mu_{\tilde{A}}(x)$ је континуирано мапирање из X у $[0,1]$;
- $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0, \forall x (-\infty, l]$;
- $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0, \forall x [u, \infty)$;
- $\mu_{\tilde{A}}(x)$ је стриктно растућа у интервалу $[l, m]$;
- $\mu_{\tilde{A}}(x)$ је стриктно опадајућа у интервалу $[m, u]$.

Приказ било ког TFN броја $\tilde{A} = (l, m, u)$ (слика 36) има линеарни облик са обе стране, стога се његова функција припадности $\mu_{\tilde{A}}(x)$ може окарактерисати као линеарна.



Слика 36. Функција припадности TFN броја

Такође важи, висина фази броја $\tilde{A}$ је једнака горњој граници кодомена његове функције припадности $\mu_{\tilde{A}}(x)$, при чему је $\tilde{A}$ нормализован фази број једино уколико важи $h(\tilde{A}) = 1$.

$$h(\tilde{A}) = \sup\{\mu_{\tilde{A}}(x) \mid x \in X\} \quad (5)$$

Носач фази броја $\tilde{A}$ представља скуп елемената који припадају бар неком фази скуп $\tilde{A}$, односно елемената чија је функција припадности $\mu_{\tilde{A}}(x)$ стриктно већа од 0.

$$\text{supp}(\tilde{A}) = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) > 0\} \quad (6)$$

Језгро фази броја $\tilde{A}$ представља скуп елемената који апсолутно припада фази скуп $\tilde{A}$.

$$\text{noy}(\tilde{A}) = \sup\{x \in X | \mu_{\tilde{A}}(x) = 1\}, \text{noy}(\tilde{A}) \subseteq \text{supp}(\tilde{A}) \quad (7)$$

У случају дефинисања степена интервала поверења α , добијамо α -одсечак TFN броја, који може бити дефинисан као:

$$\tilde{A}^\alpha = [l^\alpha, u^\alpha] = [(m-l)^\alpha + l, -(u-m)^\alpha + u], \forall \alpha \in [0,1] \quad (8)$$

$$\tilde{A}^\alpha = \{x \in X | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}, \forall \alpha \in [0,1] \quad (9)$$

Нека су $\tilde{A}_1$ и $\tilde{A}_2$ TFN бројеви дефинисани на следећи начин $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ и $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$. Неке од математичких операција над TFN бројевима могу бити изведене на следећи начин.

Сабирање:

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (10)$$

Одузимање:

$$\tilde{A}_1 \ominus \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \ominus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 - u_2, m_1 - m_2, u_1 - l_2) \quad (11)$$

Множење:

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \cdot l_2, m_1 \cdot m_2, u_1 \cdot u_2) \quad (12)$$

за $l_1, l_2, m_1, m_2, u_1, u_2 > 0$

Дељење:

$$\frac{\tilde{A}_1}{\tilde{A}_2} = \frac{(l_1, m_1, u_1)}{(l_2, m_2, u_2)} = \left(\frac{l_1}{u_2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{u_1}{l_2} \right) \quad (13)$$

за $l_1, l_2, m_1, m_2, u_1, u_2 > 0$

Реципрочна вредност TFN броја $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ може се исказати као:

$$\tilde{A}_1^{-1} = (l_1, m_1, u_1)^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1} \right) \quad (14)$$

за $l_1, m_1, u_1 > 0$

Множење TFN броја реалним бројем s , могуће је на следећи начин:

$$s \otimes \tilde{A}_1 = s \otimes (l_1, m_1, u_1) = (s \cdot l_1, s \cdot m_1, s \cdot u_1) \quad (15)$$

Фази функција припадности повезује фази бројеве са лингвистичким варијаблама које се користе у описивању преференција у процесу вишекритеријумског одлучивања.

5.2.2 Концепт интервалних фази скупова типа-2

Фази скупови типа-2 које је први представио Zadeh [464] омогућавају минимизирање утицаја неодређености у исказивању преференција у процесу вишекритеријумског одлучивања захваљујући функцији припадности која је сама по себи фази. Према Mendel и John [279] главни извори ових неодређености укључују:

- „Значење коришћених лингвистичких термина може бити неодређено (људи на различите начине перципирају значење ових исказа);
- Мере које активирају фази скупове типа-1 могу бити неодређене;
- Подаци који се користе за подешавање параметара у системима фази скупови типа-1 такође могу бити неодређени.“⁴⁸

Фази скупови типа-2 су дефинисани интервалном функцијом припадности што их чини знатно компетентнијим за моделовање оваквих неодређености, будући да су описани и

⁴⁸ Mendel и John (2002)

примарном и секундарном функцијом припадности што обезбеђује већи степен флексибилности. Фази број типа-2 ($\tilde{\tilde{A}}$) окарактерисан функцијом припадности $\mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u)$ може бити представљен на следећи:

$$\tilde{\tilde{A}} = \left\{ \left((x, u), \mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u) \right) \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1], 0 \leq \mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u) \leq 1 \right\} \quad (16)$$

Што може бити интерпретирано и као:

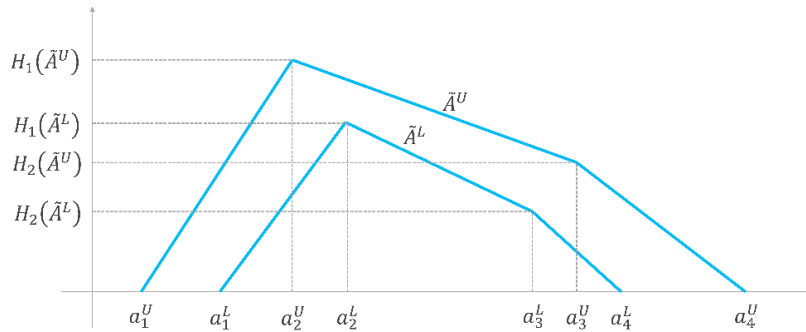
$$\tilde{\tilde{A}} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \frac{\mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u)}{(x, u)}, J_x \subseteq [0, 1] \quad (17)$$

Према Mendel и др. [280] ако претпоставимо да је свако $\mu_{\tilde{\tilde{A}}}(x, u)$ једнако 1, тада се $\tilde{\tilde{A}}$ може сматрати интервалним фази бројем типа-2 (*Interval Type-2 Fuzzy – IT2F*) који може бити представљен као у (18), што у случају трапезоидног IT2F броја (IT2TrF) може бити интерпретирано као у (19).

$$\tilde{\tilde{A}} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \frac{1}{(x, u)}, J_x \subseteq [0, 1] \quad (18)$$

$$\tilde{\tilde{A}}_i = (\tilde{\tilde{A}}_i^U, \tilde{\tilde{A}}_i^L) = (a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U; H_1(\tilde{\tilde{A}}_i^U), H_2(\tilde{\tilde{A}}_i^U)) (a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L; H_1(\tilde{\tilde{A}}_i^L), H_2(\tilde{\tilde{A}}_i^L)) \quad (19)$$

При чему су $a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i4}^U, a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, a_{i4}^L$ референтне тачке IT2TrF броја $\tilde{\tilde{A}}_i$, док је $H_\omega(\tilde{\tilde{A}}_i^U)$; $1 \leq \omega \leq 2$ вредност елемента $a_{\omega(\omega+1)}^U$ у горњој трапезоидној функцији припадности, односно $\tilde{\tilde{A}}_i^U$, такође $H_\omega(\tilde{\tilde{A}}_i^L)$; $1 \leq \omega \leq 2$ је вредност за елемент $a_{\omega(\omega+1)}^L$ у доњој трапезоидној функцији припадности ($\tilde{\tilde{A}}_i^L$). Ово графички може бити интерпретирано на начин дат на слици 37.



Слика 37. Функција припадности IT2TrF броја

Нека су $\tilde{\tilde{A}}_1 = (\tilde{\tilde{A}}_1^U, \tilde{\tilde{A}}_1^L)$ и $\tilde{\tilde{A}}_2 = (\tilde{\tilde{A}}_2^U, \tilde{\tilde{A}}_2^L)$ два интервална IT2TrF броја, чија је форма представљена у (19), тада је неке од основних математичких операција над њима могуће извршити на начин представљен у наставку и то: сабирање између IT2TrF броја (20), множење између два IT2TrF броја (21), множење IT2TrF броја јасном вредношћу s ($s > 0$) (22).

$$\begin{aligned} \tilde{\tilde{A}}_1 \oplus \tilde{\tilde{A}}_2 &= (\tilde{\tilde{A}}_1^U, \tilde{\tilde{A}}_1^L) \oplus (\tilde{\tilde{A}}_2^U, \tilde{\tilde{A}}_2^L) = \\ &\left(a_{11}^U + a_{21}^U, a_{12}^U + a_{22}^U, a_{13}^U + a_{23}^U, a_{14}^U + a_{24}^U; \right. \\ &\quad \left. \min(H_1(\tilde{\tilde{A}}_1^U), H_1(\tilde{\tilde{A}}_2^U)), \min(H_2(\tilde{\tilde{A}}_1^U), H_2(\tilde{\tilde{A}}_2^U)) \right), \\ &\left(a_{11}^L + a_{21}^L, a_{12}^L + a_{22}^L, a_{13}^L + a_{23}^L, a_{14}^L + a_{24}^L; \right. \\ &\quad \left. \min(H_1(\tilde{\tilde{A}}_1^L), H_1(\tilde{\tilde{A}}_2^L)), \min(H_2(\tilde{\tilde{A}}_1^L), H_2(\tilde{\tilde{A}}_2^L)) \right) \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \otimes (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) \\ &= \left(\begin{array}{c} a_{11}^U \cdot a_{21}^U, a_{12}^U \cdot a_{22}^U, a_{13}^U \cdot a_{23}^U, a_{14}^U \cdot a_{24}^U; \\ \min(H_1(\tilde{A}_1^U), H_1(\tilde{A}_2^U)), \min(H_2(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_2^U)) \end{array} \right), \\ &\quad \left(\begin{array}{c} a_{11}^L \cdot a_{21}^L, a_{12}^L \cdot a_{22}^L, a_{13}^L \cdot a_{23}^L, a_{14}^L \cdot a_{24}^L; \\ \min(H_1(\tilde{A}_1^L), H_1(\tilde{A}_2^L)), \min(H_2(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_2^L)) \end{array} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

$$s \otimes \tilde{A}_1 = s \otimes (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) = \left(\begin{array}{c} (s \cdot a_{11}^U, s \cdot a_{12}^U, s \cdot a_{13}^U, s \cdot a_{14}^U; H_1(\tilde{A}_1^U), H_2(\tilde{A}_1^U)), \\ (s \cdot a_{11}^L, s \cdot a_{12}^L, s \cdot a_{13}^L, s \cdot a_{14}^L; H_1(\tilde{A}_1^L), H_2(\tilde{A}_1^L)) \end{array} \right) \quad (22)$$

Дефазификације IT2TrF броја $\tilde{A}_i$ је могућа према (23), где вредности $a_{01,2,3,4}$ престављају аритметичку средину горње и доње границе IT2TrF броја ($\tilde{A}_i$).

$$A_i = \frac{\int x u(x) dx}{\int u(x) dx} = \frac{-a_{01} \cdot a_{02} + a_{03} \cdot a_{04} + \frac{1}{3}(a_{04} - a_{03})^2 - \frac{1}{3}(a_{02} - a_{01})^2}{-a_{01} - a_{02} + a_{03} + a_{04}} \quad (23)$$

Дистанца између два IT2TrF броја $\tilde{A}_1 = (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L)$ и $\tilde{A}_2 = (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L)$ се одређује према (24).

$$\begin{aligned} d(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) &= \\ &= \sqrt{\frac{1}{8} \left((a_{11}^L + a_{21}^L)^2 + (a_{12}^L + a_{22}^L)^2 + (a_{13}^L + a_{23}^L)^2 + (a_{14}^L + a_{24}^L)^2 + (a_{11}^U + a_{21}^U)^2 + (a_{12}^U + a_{22}^U)^2 \right. \\ &\quad \left. + (a_{13}^U + a_{23}^U)^2 + (a_{14}^U + a_{24}^U)^2 + 2 \left(H(\tilde{A}_1^L) - H(\tilde{A}_2^L) \right)^2 + 2 \left(H(\tilde{A}_1^U) - H(\tilde{A}_2^U) \right)^2 \right) \end{aligned} \quad (24)$$

5.1 Концепт АНР методе, модели проширени са теоријом фази скупова

Метода *Analytic Hierarchy Process* (АНР) „пружа методологију за структурирање сложених проблема одлучивања, који укључују више атрибута које је тешко формализовати, у хијерархију елемената одлучивања, њихово систематско поређење по паровима и синтезу добијених резултата ради извођења приоритета.“⁴⁹ Заснива се на флексибилној и структурираној процедури, карактерише је једноставност и интуитивност што објашњава велики број примена у различитим контекстима. Према Saaty [357] АНР се темељи на четири аксиома, укључујући аксиом реципрочности, хомогености, зависности и очекивања и изводи се према следећој процедури:

- Формирање и анализа хијерархије одлучивања, односно декомпоновање сложеног проблема одлучивања на хијерархију елемената: циљ проблема одлучивања; критеријуми и подкритеријуми који утичу на одлуку и потенцијалне алтернативе;
- Прикупљање релевантних података о атрибутима и њихова анализа, затим упоредно поређење атрибута истог нивоа, на свим нивоима хијерархије, што резултира матрицама упоредних поређења по паровима;
- Екстраховање нормализованих вектора тежинских коефицијената из матрица поређења по паровима, за сваки од атрибута и
- Одређивање приоритета атрибута изналажењем композитног нормализованог вектора као пондерисане суме парцијалних процена.

И поред своје једноставности и флексибилности, конвенционална АНР метода испољава одређене слабости које ограничавају њену применљивост у ситуацијама када постоји било

⁴⁹ Saaty (1980)

каква неодређеност у подацима о проблему који се разматра. Заправо, конвенционална АНР метода може бити погодно решење уколико је преференције доносиоца одлуке могуће исказати уз помоћ егзактних вредности, што није случај са неодређеним преференцијама, својственим већини реалних проблема одлучивања. АНР методи се често замера да не одражава у потпуности начин на који људи размишљају, према *Sun* [397] АНР метода пружа недовољно прецизно рангирање засновано на неуравнотеженој скали за процене што *Deng* [111] објашњава занемаривањем несигурности која се може јавити при пресликавању непрецизних перцепција доносиоца одлуке на нумеричку скалу за процене. Такође, крајњи резултат код АНР методе је обликован субјективним перцепцијама доносиоца одлука [70] који често нису у могућности да прецизно исказу своје преференције због сложености и неодређености проблема одлучивања или пак непотпуних информација. Иако је исказивање субјективних преференција помоћу лингвистичких варијабли ближе начину на који човек размишља, јавља се проблем непрецизног пресликавања лингвистички исказаних преференција на нумеричку скалу за процене.

Објективизацију процеса одређивања тежинских коефицијената у усовима непрецизних и нејасних података, несигурности и недоследности доносиоца одлуке при исказивању својих преференција, омогућила је интеграција теорије фази скупова у конвенционални АНР процес. Наиме уз помоћ фази бројева могуће је математички описати лингвистичке исказе на адекватан начин чиме се успешно превазилази проблем неуравнотежене скале за процене. Такође „примена теорије фази скупова у процесу одлучивања омогућава симулирање начина на који човек размишљања.“⁵⁰ АНР методу проширену са теоријом фази скупова најпре уводе аутори *Van Laarhoven* и *Pedrycz* [422], *Buckley* [57] и *Chang* [73], до сада је развијено више фази АНР модела за решавање различитих оптимизационих проблема. Предложени модели се разликују по облику функције припадности фази скупова коришћених за описивање лингвистичких преференција, разлике се јављају и у начину генерисања приоритета из фази преференцијалних односа у матрицама упоредног поређења и агрегацији индивидуалних преференција у случају групног одлучивања. Табела 6 пружа преглед најчешће коришћених фази АНР модела у литератури.

Табела 6. Фази АНР модели коришћени у литератури

Подручје методолошких модификација	Коришћени приступ	Референце
Метода генерисања тежина критеријума из матрице фази преференцијалних односа	Метода геометријске средине	[57]
	Анализа опсега (<i>extend analysis</i>)	[73]
	Lambda-max (λ_max) метод	[98]
	Метода програмирања фази преференција (<i>Fuzzy preference programming</i>)	[286]
	Метода фази најмањег квадрата (<i>Fuzzy Least-Squares</i>)	[450]
	Метода двостепеног логаритамског програмирања (<i>Two-Stage Logarithmic Programming - TSLP</i>)	[438]
	Модификација методе логаритамских најмањег квадрата	[437]
	Минимизирање логаритамских квадрата	[422]
	Сопствени вектор заснован на индексу оптимизације (<i>Eigenvector based on index of optimism</i>)	[60]
	Метода фази нелинеарног програмирања (<i>Fuzzy non-linear programming method</i>)	[347]

⁵⁰ *Kaur* и *Chakraborty* (2007)

Подручје методолошких модификација	Коришћени приступ	Референце
Тип фази скупова за моделирање лингвистичких преференција	Фази интервал геометријске средине (<i>Fuzzy interval geometric mean</i>)	[68]
	Интуиционистички фази скупови (<i>Intuitionistic fuzzy set</i>)	[59]
	TFN	[334]
	TrFN	[191]
	IT2F	[332]
Групно одлучивање – метода агрегације индивидуалних фази преференција	Метода аритметичке средине	[57]
	Max-min метода	[77]
	Метода заснована на степену консензуса	[60]
	Интервална фази геометријска средина (<i>Fuzzy interval geometric mean</i>)	[161]
	Фази интуиционистички пондерисани просек (<i>Intuitionistic fuzzy weighted averaging</i>)	[59]

5.2 IT2FАНР модел

Приступ предложен у овом истраживању користи модификацију Buckley-овог [57] АНР модела, специфичности предложеног математичког модела се огледају у следећем:

- за генерисање приоритета из матрице преференцијалних односа модел користи методу геометријске средине;
- за моделовање лингвистичких преференција користи се теорија IT2TrF скупова, за разлику од првобитно успостављеног фази облика Buckley-овог модела заснованог на фази скуповима типа-1 [212].

Модел приказан у наставку верификован је кроз радове Пузовић и др. [332, 335], Весић Васовић и др. [426].

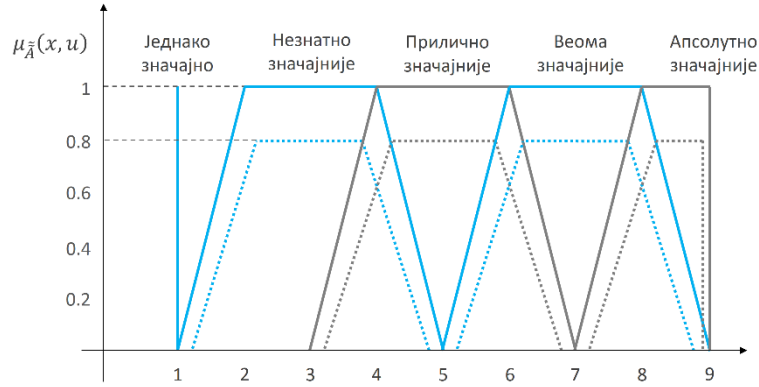
Први корак у имплементацији предложеног АНР процеса подразумева успостављање матрице упоредног поређења атрибута који представљају предмет приоритизације ($\tilde{A} = \{\tilde{a}_{ij}\}_{n \times n}$) дате у IT2TrF облику.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ 1/\tilde{a}_{12} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{1n} & 1/\tilde{a}_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (25)$$

При чему елементи матрице ($\tilde{a}_{ij}$) представљају преферентност атрибута i у односу на атрибут j , исказану од стране учесника укључених у процес приоритизације. Ове преференцијалне односе, учесници најпре исказују уз помоћ лингвистичких исказа (нпр. *апсолутно значајније*, *веома значајније*, *прилично значајније* итд.), који се затим пресликавају на IT2TrF скалу процене дату у табели 7. Ова скала је графички интерпретирана на слици 38. Тиме се превазилази проблем неодређености и недоследности учесника процеса приоритизације приликом исказивања преференција, немогућности исказивања перцепција о појави на прецизан начин.

Табела 7. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви коришћени у АНР процесу

Лингвистичке варијабле	IT2TrF бројеви
Једнако значајно	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;1,1)
Незнатно значајније	(1,2,4,5;1,1) (1,2,2,2,3,8,4,8;0,8,0,8)
Прилично значајније	(3,4,6,7;1,1) (3,2,4,2,5,8,6,8;0,8,0,8)
Веома значајније	(5,6,8,9; 1,1) (5,2,6,2,7,8,8,8;0,8,0,8)
Апсолутно значајније	(7,8,9,9;1,1) (7,2,8,2,8,8,9;0,8,0,8)



Слика 38. Функција припадности за IT2TrF лингвистичку скалу

Матрица $\tilde{A}$ је реципрочног карактера, па је:

$$\tilde{a}_{ij} = \frac{1}{\tilde{a}_{ji}} \quad (26)$$

Како је $\tilde{a}_{ij}$ дато у форми IT2TrF броја (27), тако је његова реципрочна вредност дата у (28).

$$\tilde{a} = (a_{11}^U, a_{12}^U, a_{13}^U, a_{14}^U; H_1(a^U), H_2(a^U)) (a_{11}^L, a_{12}^L, a_{13}^L, a_{14}^L; H_1(a^L), H_2(a^L)) \quad (27)$$

$$\frac{1}{\tilde{a}} = \left(\frac{1}{a_{14}^U}; \frac{1}{a_{13}^U}; \frac{1}{a_{12}^U}; \frac{1}{a_{11}^U}; H_1(a^U), H_2(a^U) \right) \left(\frac{1}{a_{14}^L}; \frac{1}{a_{13}^L}; \frac{1}{a_{12}^L}; \frac{1}{a_{11}^L}; H_1(a^L), H_2(a^L) \right) \quad (28)$$

Уколико процес приоритизације укључује K учесника, успоставља се K индивидуалних фази матрица упоредног поређења, које могу бити агрегиране применом методе геометријске средине према (29 и 30), при чему $\tilde{a}_{ij}^k$ представља преферентност исказану од стране k -тог експерта ($k = 1, 2, \dots, K$).

$$\tilde{a}_{ij} = (\prod_{k=1}^K \tilde{a}_{ij}^k)^{\frac{1}{K}} = [\tilde{a}_{ij}^1 \otimes \tilde{a}_{ij}^2 \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{ij}^K]^{\frac{1}{K}} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \sqrt[K]{\tilde{a}_{ij}} &= \left(\sqrt[K]{a_{ij1}^U}, \sqrt[K]{a_{ij2}^U}, \sqrt[K]{a_{ij3}^U}, \sqrt[K]{a_{ij4}^U}; H_1^U(a_{ij}); H_2^U(a_{ij}) \right) \\ &\quad \left(\sqrt[K]{a_{ij1}^L}, \sqrt[K]{a_{ij2}^L}, \sqrt[K]{a_{ij3}^L}, \sqrt[K]{a_{ij4}^L}; H_1^L(a_{ij}); H_2^L(a_{ij}) \right) \end{aligned} \quad (30)$$

Генерисање тежина атрибута најпре захтева прорачун фази геометријске средине за сваки атрибут ($\tilde{r}_i$) односно ред агрегатне матрице упоредног поређења (31).

$$\tilde{r}_i = (\prod_{j=1}^n \tilde{a}_{ij})^{\frac{1}{n}} = [\tilde{a}_{i1} \otimes \tilde{a}_{i2} \otimes \dots \otimes \tilde{a}_{in}]^{\frac{1}{n}} \quad (31)$$

На основу вредности $\tilde{r}_i$, могуће је одредити IT2TrF тежине атрибута ($\tilde{w}_i$) према:

$$\tilde{w}_i = \tilde{r}_i \otimes [\tilde{r}_1 \oplus \dots \oplus \tilde{r}_i \oplus \dots \tilde{r}_n]^{-1} \quad (32)$$

5.3 Концепт и применљивост MULTIMOORA методе

*MULTI*pllicative form of Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis (MULTIMOORA) метода развијена од стране Brauers и Zavadskas [52] је проширени облик MOORA методе [51]. За разлику од MOORA методе која користи систем односа (енг. *Ratio System* – RS) и приступ референтне тачке (енг. *Reference Point Approach* – RPA), MULTIMOORA уводи пуни мултипликовани облик (енг. *Full Multiplicative Form* – FMF) као додатни, трећи модел рангирања алтернатива. Док већина метода у овој области заснива коначни ранг алтернатива на једној функцији корисности, MULTIMOORA обезбеђује интегративни ранг на основу агрегације резултата три различите функције, које се заснивају на компензаторном, непотпуно компензаторном и некомпензаторном моделу.

„Систем односа (RS) користи аритметичко пондерисање као оператор агрегације, ради се о потпуном компензаторском моделу, што значи да добре перформансе алтернативе према једном критеријуму компензују лоше перформансе према другом.“⁵¹ Према овом концепту, алтернатива која показује лоше перформансе према одређеном броју критеријума и добре према остатку, може имати приближан ранг у односу на алтернативе које испољавају умерене перформансе према свим критеријумима. Као такав, RS модел рангирања може бити поуздан уколико се проблем разматра на основу независних критеријума. Насупрот томе, у случају појаве зависних критеријума прикладније је користити пуни мултипликовани облик (FMF), који као концепт агрегације примењује геометријско пондерисање. „FMF се базира на непотпуном компензаторном моделу, што значи да се мале нормализоване вредности не могу у потпуности компензовати истим степеном великих вредности, због чега алтернатива умерених перформанси може бити супериорна у односу на алтернативе које имају и добре и лоше перформансе у зависности од критеријума одлучивања.“⁵² Приступ референтне тачке (RPA) генерише ранг алтернатива бирајући најбољу од најслабије оцењених алтернатива, ради се о некомпензаторном моделу, због чега се може сматрати конзервативним приступом у поређењу са RS и FMF методама које омогућавају да се лоше перформансе алтернативе према једном критеријуму компензују dobrим перформансама према другом. Указујући на додатне предности MULTIMOORA методе Brauers и Zavadskas [53] наводе да се она заснива на кардиналним вредностима што је чини погоднијом у односу на методе засноване на ординалним вредностима, такође може бити погоднија са свим некорелираним циљевима у односу на ограничени број циљева.

Применљивост MULTIMOORA методе

MULTIMOORA пружа многа практична решења у суочавању са сложеним проблемима вишекритеријумског одлучивања што је, уз њену математичку једноставност, чини једном од најчешће примењиваних метода у овој области. MULTIMOORA налази широку примену као део интегралних модела вишекритеријумског одлучивања, такође као ефикасна методолошка надоградња у примени других приступа као што су FMEA, QFD итд. Литература бележи и одређена методолошка унапређења чији је циљ превазилажење слабости конвенционалног MULTIMOORA модела и повећање конзистентности крајњих резултата. Ова унапређења се пре свега односе на домен моделовања неодређености инхерентних процесима одлучивања и примену алтернативних приступа агрегацији резултата изведених према различитим функцијама корисности. MULTIMOORA налази широку примену у решавању проблема одлучивања у ситуацијама неизвесности. Вођени проблемима неодређености и несигурности инхерентних процесима вишекритеријумског

⁵¹ Liao и др. (2019)

⁵² Liao и др. (2019)

одлучивања, развијен је велики број модела који успешно интегришу различите теорије неодређености у MULTIMOORA процес, укључујући *interval number* теорију [359]; *linguistic term* теорију [255]; *neutrosophic set* теорију [475]; *Z-number* теорију [317]; *probabilistic linguistic term sets* [78]. При чему се највећи део ових модела базира на интеграцији теорије фази скупова, као што су: *interval-valued spherical fuzzy* [20]; *interval-valued Pythagorean fuzzy* [249]; *single-valued neutrosophic set* [474]; *q-rung orthopair fuzzy* [480]; *2-tuple linguistic Fermatean fuzzy* [3].

Такође, до сада је развијен велики број интегралних модела вишекритеријумске анализе базираних на MULTIMOORA методи, који налазе своју примену у решавању актуелних проблема у областима технологије, економије, менаџмента и многих других. На пример, *Siddiqui* и *Haroon* [374] су развили системски модел за идентификацију и праћење фактора који су утицали на спорију стопу усвајања *blockchain* технологија, заснован на проширеном MULTIMOORA моделу који integriше IEW-FCEM (*Information Entropy Weight–Fuzzy Comprehensive Evaluation*), како би се генерисале објективне тежине критеријума и елиминисало ослањање искључиво на искуство стручњака из предметне области. *Qin* и *Ma* [337] комбинују MULTIMOORA методу и IT2F информације базирane на PT³ (*third generation prospect theory*) за избор плана реаговања у ванредним ситуацијама. Модел генерише SMAA (*Stochastic Multi-criteria Acceptability Analysis*) и *Borda Count* методе за агрегацију резултата рангирања, такође користи конвергентни итеративни алгоритам за постизање групног консензуса за случај конфликта у процесу групног одлучивања. *Chen* и др. [78] комбинују PLTS (*Probabilistic Linguistic Term Set*) скупове и MULTIMOORA методу за оцену *cloud* базираних ERP система, такође у модел integriшу *Choquet* интеграл за агрегацију матрице евалуације. MULTIMOORA модел развијен у *interval-valued spherical fuzzy* окружењу се користи за процену учинка компанија у контексту Индустрије 4.0 [20], сличан модел развијен у *intuitionistic hesitant fuzzy* окружењу *Geetha* и др. [150] користе за избор метода за третман медицинског отпада. Док *Fernandez* и *Vergara* [139] користе ову методу у поређењу нуклеарних реактора.

MULTIMOORA се често комбинује са другим методама као што су GP, FMEA, QFD, DEA. Рецимо, *Çebi* и *Otay* [67] су развили двостепени фази приступ за избор добављача у оквиру кога се фази MULTIMOORA метода користи за избор добављача узимајући у обзир субјективне мере, док се фази GP користи за одређивање износа наруџбина. За исти проблем *Gai* и др. [144] комбинују MULTIMOORA методу са Z-бројевима и *bi-objective non-linear programming* методом. *Yu* и др. [461] предлажу хибридни модел заснован на FMEA и MULTIMOORA методама, при чему се користи проширена MULTIMOORA метода заснована на *rough cloud* моделу да би се одредио приоритет ризика за режиме отказа, за исти проблем *Zolfaghari* и *Mousavi* [486] предлажу интегрални модел који комбинује FMEA и MULTIMOORA методу проширену са TROP и *interval-valued hesitant fuzzy* лингвистичким скуповима. *Liu* и др. [253] предлажу двостепени интегрални модел за селекцију добављача који комбинује QFD, BWM, *Shannon*-ов модел ентропије и фази MULTIMOORA методу, при чему се MULTIMOORA користи у процесу оцене и генерисања ранга добављача. Како би се ближе представио потенцијал примене ове методе, табела 8 пружа извод резултата опсежне анализе литературе, у виду сажетог приказа постојећих MULTIMOORA базираних интегралних модела и подручја њихове примене, уз преглед карактеристичних приступа оптимизацији конвенционалног модела.

Табела 8. Преглед MULTIMOORA базираних интегралних модела

Приступ третирању неодређености	Интеграција са ВКО и другим методама	Приступ агрегацији резултата субординираних рангирања	Приступ приоритизацији критеријума	Област примене	Студије
IVTFN	GITFNOWGA	Dominance theory		Процена и бенчмаркинг CNC машина	[359]
TFN	MOLP	Dominance theory		Избор добављача на основу субјективних мера и алокација поруџбине	[67]
SVNS		Dominance theory	SWARA	Одабир материјала и елемената за изградњу стамбених објеката	[474]
Uncertain linguistic term		Dominance theory	DEMATEL	Избор станице за пуњење електричних аутомобила	[255]
Z-number theory		Dominance theory		Процена потенцијала загађивања ваздуха	[317]
TFN		Модел оптимизације		Решавање проблема третмана отпада	[79]
		Dominance theory	H-SWARA	Избор технологија обновљивих извора енергије	[192]
TrFN	QFD	Dominance theory	BWM, Shannon entropy model	Избор добављача свежих пољопривредних производа	[253]
IT2F	MOOSRA, AHP	TPOP		Одређивање критичног пута пројекта	[119]
HFLTS	Score-HeDLiSF	ORESTE	LLS	Проблем инвестиционог улагања	[252]
PLTS	Choquet integral	Dominance theory		Избор <i>cloud</i> базираних ERP система	[78]
IHF		Dominance theory		Избор метода за третман медицинског отпада	[150]
T1FS		CCSD		Избор методе предвиђања у авио индустрији	[102]
IVPF	FMEA	Dominance theory		Процена ризика у ванредним ситуацијама	[249]
IVNS	HEBIN	Dominance theory		Оцена и избор сајтова за е-трговину	[475]
PFS		Dice distance and score function		Оцена и избор енергетских пројеката	[189]
IVSF		Dominance theory		Процена учинка компанија у контексту Индустрије 4.0	[20]
IVHFLS	FMEA	TPOP		Одређивање приоритета потенцијалних грешака у здравственом систему	[486]
SVNN		Dominance theory	CRITIC	Избор методе за оптималан третман отпада хране	[345]
HFLTS	QFD	Borda правило	DEMATEL	Проблем дизајна производа: CNC алатна машина	[80]
PT ³ IT2F		SMAA, Borda Count		Избор плана реаговања у ванредним ситуацијама у здравству	[337]
Q-ROFS	Q-ROFEWA	Dominance theory		Оцена и избор сценарија енергетске ефикасности	[348]
HF2TLS	CRP, PSO	Dominance theory		Групно одлучивање у SEMSS	[454]
HFLTS		EDAS		Процена користи од WPHPP	[84]
Z-number theory	Bi-objective non-linear programming	Dominance theory		Оцена зелених добављача и одређивање количине поруџбина	[144]
TFN		Dominance theory	IEW-FCEM	Идентификација и праћење фактора који утичу на спорије усвајање <i>blockchain</i> технологија	[374]
SVNN		Borda правило	MEREC	Рангирање LCTS стратегија	[289]
Rough Cloud	FMEA, IARCWA	Dominance theory	SWARA, CRITIC	Одређивање тежинских фактора ризика за режиме отказа	[461]

5.4 IT2FMULTIMOORA процес

Предложени MULTIMOORA модел се базира на интеграцији IT2F теорије у конвенционални MULTIMOORA процес у циљу ефикаснијег моделовања неодређености и несигурности инherentних процесима вишекритеријумског одлучивања (концепт IT2F скупова детаљно је представљен у потпоглављу 5.2.2), док се унапређено *Borda* правило предлага као алат за агрегацију резултата рангирања алтернатива према карактеристичним RS, RPA и FMF приступима. Модификовани MULTIMOORA процес, који се у раду предлага, се изводи кроз следеће кораке:

- Формирање вишекритеријумске матрице одлучивања $(\tilde{\tilde{\delta}}_{ij})_{n \times m}$;
- Формирање нормализоване матрице одлучивања $(\tilde{\tilde{n}\delta})_{n \times m} = (\tilde{\tilde{n}\delta}_{ij})_{n \times m}$;
- Извођење корисности према RS ($\tilde{\theta}_{jRS}$), RPA ($\tilde{\theta}_{jRPA}$) и FMF ($\tilde{\theta}_{jFMF}$) приступима;
- Генерисање ранга према RS ($r(\theta_{jRS})$), RPA ($r(\theta_{jRPA})$) и FMF ($r(\theta_{jFMF})$);
- Агрегација резултата субординираног рангирања применом унапређеног *Borda* правила ($IBC(\theta_j)$) и генерисање коначног ранга алтернатива ($r(\theta_{jBorda})$).

Претпоставимо да Θ представља коначан скуп од m алтернатива оцењених у систему од n критеријума ($c_i = c_1, c_2, \dots, c_n$) и нека су $\tilde{w}_i (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)$ IT2TrF релативне тежине критеријума, усвојене из претходно спроведеног IT2FАНР поступка приоритизације. За сваку алтернативу $\theta_j (j = 1, 2, \dots, m)$ из скупа Θ , $\tilde{\delta}_{ij}$ представља припадајућу вредност или оцелу према критеријуму $c_i (i = 1, 2, \dots, n)$.

На основу претходно поменутих параметара успоставља се вишекритеријумска матрица одлучивања $(\tilde{\tilde{\delta}}_{ij})_{n \times m}$, дефинисана на следећи начин:

$$= (\tilde{\tilde{\delta}}_{ij})_{n \times m} = \begin{matrix} & \theta_1 & \theta_2 & \dots & \theta_m \\ \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{\tilde{\delta}}_{11} & \tilde{\tilde{\delta}}_{12} & \dots & \tilde{\tilde{\delta}}_{1m} \\ \tilde{\tilde{\delta}}_{21} & \tilde{\tilde{\delta}}_{22} & \dots & \tilde{\tilde{\delta}}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \tilde{\tilde{\delta}}_{n1} & \tilde{\tilde{\delta}}_{n2} & \dots & \tilde{\tilde{\delta}}_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (33)$$

Следи нормализација елемената успостављене матрице одлучивања, применом векторске нормализације:

$$\tilde{\tilde{n}\delta}_{ij} = \frac{\tilde{\tilde{\delta}}_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (\tilde{\tilde{\delta}}_{ij})^2}} \quad (34)$$

Централни део MULTIMOORA процеса је извођење корисности и генерисање ранга алтернатива према субординираним приступима RS, RPA и FMF, респективно.

Корисност алтернативе према RS приступу се одређује као разлика између пондерисаних нормализованих оцена алтернатива према критеријумима *корисности* ($\tilde{\tilde{n}\delta}_{ij}, i = 1, 2, \dots, g$) и према *трошковим* критеријумима ($\tilde{\tilde{n}\delta}_{ij}, i = g + 1, \dots, n$), при чему g представља укупан број критеријума *корисности*.

$$\tilde{\theta}_{jRS} = \sum_{i=1}^g \tilde{w}_i \cdot \tilde{\tilde{n}\delta}_{ij} - \sum_{i=g+1}^n \tilde{w}_i \cdot \tilde{\tilde{n}\delta}_{ij} \quad (35)$$

Ранг алтернатива према RS приступу се генерише у опадајућем низу. Поређење два IT2TrF броја се врши на основу њихових дефазификованих вредности, изведених према формули (23).

$$r(\theta_{jRS}) = \left\{ \theta_{j|_{\max \theta_{jRS}}} > \dots > \theta_{j|_{\min \theta_{jRS}}} \right\} \quad (36)$$

RPA приступ се базира на одређивању вектора максималне референтне тачке циља (енг. *Maximal Objective Reference Point – MORP*), овај параметар ($\tilde{u}_i^*$) се према Brauers и Zavadskas [52] дефинише на основу вредности из нормализоване матрице $(\tilde{\bar{\bar{\delta}}}_{ij})_{n \times m}$ одлучивања на следећи начин:

$$\tilde{u}_i^* = \left\{ \max_j \tilde{\bar{\bar{\delta}}}_{ij}, i \leq g; \min_j \tilde{\bar{\bar{\delta}}}_{ij}, i > g \right\} \quad (37)$$

Према RPA приступу, корисност алтернативе се дефинише као максимално пондерисано одстојање MORP вектора и нормализоване оцено алтернативе $d(\tilde{u}_i^*, \tilde{\bar{\bar{\delta}}}_{ij})$, дефинисано на основу *Tchebycheff Min–Max* метрике:

$$\tilde{t}_{jRPA} = \max_i w_i \cdot d(\tilde{u}_i^*, \tilde{\bar{\bar{\delta}}}_{ij}) \quad (38)$$

Ранг алтернатива према RPA приступу се генерише у растућем редоследу, при чему се као најбоље рангирана бира алтернатива са најмањим пондерисаним одстојањем од MORP вектора.

$$r(\theta_{jRPA}) = \left\{ \theta_{j|_{\min \theta_{jRPA}}} > \dots > \theta_{j|_{\max \theta_{jRPA}}} \right\} \quad (39)$$

Корисност алтернатива према FMF приступу се одређује као однос између производа пондерисаних нормализованих оцена алтернатива према критеријумима *корисности* и према *трошковним* критеријумима. Као најбоље рангирана, бира се алтернатива са највећом вредности параметра $\tilde{\theta}_{jFMF}$.

$$\tilde{\theta}_{jFMF} = \frac{\prod_{i=1}^g (\tilde{\bar{\bar{\delta}}}_{ij}) \cdot w_i}{\prod_{i=g+1}^n (\tilde{\bar{\bar{\delta}}}_{ij}) \cdot w_i} \quad (40)$$

$$r(\theta_{jFMF}) = \left\{ \theta_{j|_{\max \theta_{jFMF}}} > \dots > \theta_{j|_{\min \theta_{jFMF}}} \right\} \quad (41)$$

Следи агрегација субординираних рангова дефинисаних на основу RS, RPA и FMF приступа у интегративну ранг листу, за шта је до сада развијено више методолошких приступа. Међу којима је најчешће коришћена теорија доминације, што је уједно и приступ предложен у оригиналном MULTIMOORA моделу. Генерисање ранга алтернатива према овом приступу врши се према (42), у којој s означава један од услова: *апсолутна доминација*, *парцијална доминација*, *апсолутна једнакост*, *парцијална једнакост* или *једнакост*.

$$R_{dominance} = \left\{ \theta_{j|_{j=1 \text{ or } 2 \dots \text{ or } m}} \stackrel{c}{>} \theta_{j|_{j=1 \text{ or } 2 \dots \text{ or } m}} \stackrel{c}{>} \dots \stackrel{c}{>} \theta_{j|_{j=1 \text{ or } 2 \dots \text{ or } m}} \right\} \quad (42)$$

Међутим овај приступ испољава одређене слабости, које се односе на комплексност у одређивању ранга, нарочито у случају већег броја алтернатива, када приступ губи на својој једноставности због потребе за вишеструким поређењима; уз то, приступ користи само ординалне занемарујући релативне важности алтернатива; такође, у појединим случајевима

може доћи до кружног резоновања последично и до идентичних рангова. У циљу превазилажења ових недостатака постоји тенденција примене других алата за агрегацију резултата рангирања, при чему је у примени неколико карактеристичних приступа као што су: математички оператори попут аритметичке и геометријске средине [192]; метод позиције ранга (енг. *Rank Position Method*) [11]; методе вишекритеријумског одлучивања као што су ORESTE [252] и TROP [119, 486]; такође модели оптимизације [79] итд.

Као алат за агрегацију резултата субординираних рангирања на основу RS, RPA и FMF метода, у предложеном моделу се користи унапређено *Borda* правило [446], које се заснива на *Borda Count (BC)* методи [37]. Према Qin и Ma [337], *Borda Count* представља генерализацију правила већинског гласања и на неки начин се може дефинисати као мапирање од резултата рангирања појединца, преко резултата интегрисаног рангирања до најрелевантније одлуке. Приступ се заснива на BC параметру, изведеном према следећој релацији:

$$BC_j = n(\theta_{jRS}) - n(\theta_{jRPA}) + n(\theta_{jFMF}) \quad (43)$$

Унапређено *Borda* правило интегрише и кардиналне вредности (степен пожељности алтернативе) и редне вредности (рангове) за сваку од субординираних метода рангирања, на начин дат у наставку

$$IBC(\theta_j) = n(\theta_{jRS}) \frac{m-r(\theta_{jRS})+1}{m(m+1)/2} - n(\theta_{jRPA}) \frac{r(\theta_{jRPA})}{m(m+1)/2} + n(\theta_{jFMF}) \frac{m-r(\theta_{jFMF})+1}{m(m+1)/2} \quad (44)$$

Параметри $n(\theta_{jRS})$, $n(\theta_{jRPA})$ и $n(\theta_{jFMF})$ су изведени на основу линеарне нормализације дефазификованих вредности параметара $\tilde{\theta}_{jRS}$, $\tilde{\theta}_{jRS}$ и $\tilde{\theta}_{jFMF}$, при чему се процес дефазификације изводи према (23).

Коначни ранг алтернатива генерише се у опадајућем редоследу према *IBC* вредности.

$$\theta_{Borda}^* = \left\{ \theta_{j| \max_j IBC(\theta_j)} \right\} \quad (45)$$

$$r(IBC) = \left\{ \theta_{j|j=1 \text{ or } 2 \dots \text{or } m} \stackrel{c}{>} \theta_{j|j=1 \text{ or } 2 \dots \text{or } m} \stackrel{c}{>} \dots \stackrel{c}{>} \theta_{j|j=1 \text{ or } 2 \dots \text{or } m} \right\} \quad (46)$$

5.5 Концепт QFD методе, ограничења конвенционалног модела, приступи оптимизацији, нова подручја примене

Концепт *Quality Function Deployment (QFD)* је првобитно развијен као „алат за структурирано планирање и развој производа који инжењерским тимовима омогућава да јасно специфицирају захтеве и потребе купаца, а затим их на систематски начин преведу у мерљиве карактеристике производа и процеса.“⁵³

Као инжењерски алат, QFD пружа структуриран и једноставан приступ за имплементацију постојећих и антиципираних захтева корисника преведећи их у прецизне техничке спецификације или пословне захтеве. Штавише, QFD се описује као „холистички приступ доношењу одлука у планирању производа, који је тржишно оријентисан и вођен преференцијама корисника.“⁵⁴ Као такав, QFD ствара могућност проактивног приступа у решавању проблема квалитета, истовременог инжењеринга, економичније производње итд. QFD је донео одређену иновативност у односу на традиционалне приступе у планирању

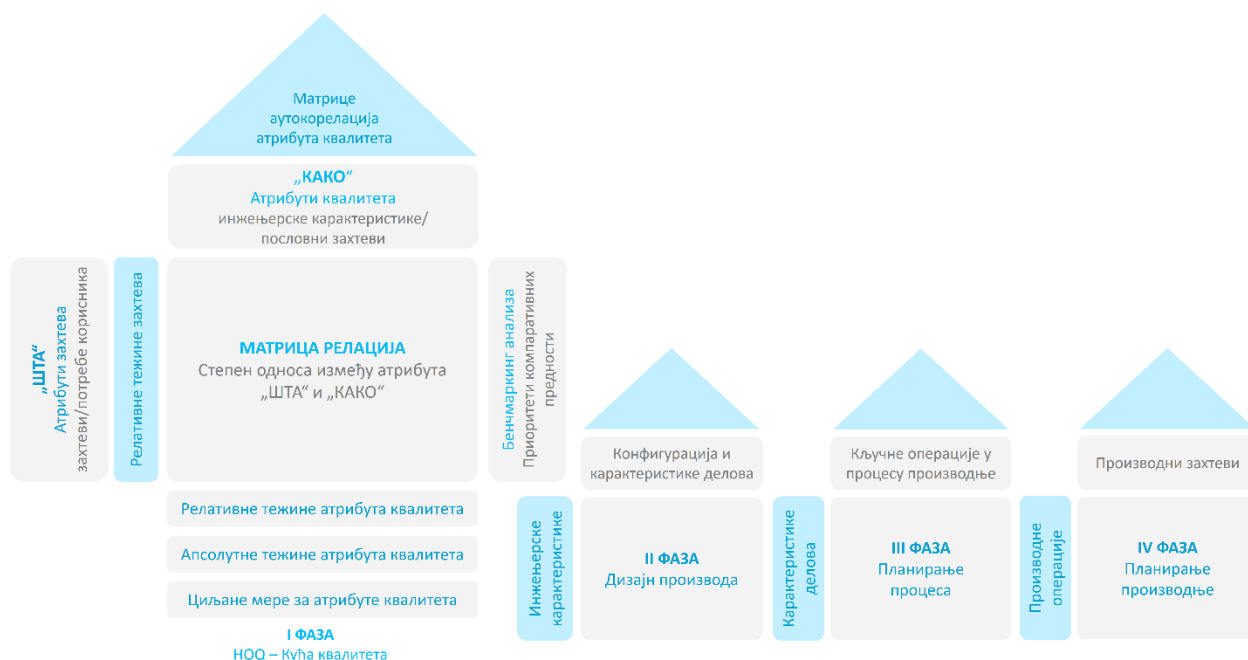
⁵³ Cohen (1995)

⁵⁴ Cohen (1995)

производа која се огледа кроз два аспекта, најпре, његова примена уводи перспективу корисника, другим речима *глас корисника* (енг. *voice of customer*). Друго, QFD процедура је подразумевала ангажовање мултидисциплинарне експертизе, пружајући контекст у оквиру кога планирање и дизајн производа, планирање процеса и захтева производње пружају кохерентан одговор на очекивања купаца [211].

Конвенционални QFD процес се најчешће имплементира кроз итеративни процес, користећи низ узајамно повезаних матрица кроз које се разматрају сви специфични аспекти захтева производа. У том контексту, фазе QFD анализе могу бити конципиране као: 1) планирање производа – документовање захтева купаца, техничких способности организације да испуни те захтеве итд.; 2) дизајн производа - документовање спецификација за његове делове; 3) планирање процеса - дефинисање параметара процеса и 4) планирање производње – постављање захтева производње на начин који одражава стандарде квалитета [65, 211]. Концепт QFD засноване анализе би се најједноставније могао објаснити на следећи начин: генерисање улазних података у процес QFD анализе укључујући идентификовање захтева и одређивање њихових приоритета, преводње захтева у специфичне атрибуте квалитета, који ће бити имплементирани као одговор на вредности специфициране кроз захтеве; откривање релација и процену ефикасности атрибута квалитета у постизању корелирајућег захтева; извођење релативних приоритета атрибута квалитета на основу утврђених релација.

Један од кључних алата за имплементацију QFD процеса је кућа квалитета (енг. *House of Quality* – *HoQ*) коју су *Hauser* и *Clausing* [173] развили као композитну матрицу која документује све аналитичке процесе у имплементацији QFD-a. То је заправо својеврсна матрица одлучивања која пружа смернице за извођење QFD процеса. „HoQ представља неку врсту концептуалне мапе које служи као средство за интерфункционално планирање и комуникацију.“⁵⁵ У наставку су описани концепти својствени за HoQ и њихова улога у QFD процесу.



Слика 39. Фазе QFD анализе [65]

⁵⁵ Shen и др. (2001)

Сегмент ШТА (атрибути захтева) садржи примарне улазне податке у QFD процес, то је листа захтева који рефлектују тзв. *глас корисника*. Овим захтевима се у QFD процесу додељују тежински коефицијенти, који указују на њихову релативну важност.

Сегмент КАКО (атрибути квалитета) укључује мерљиве атрибуте, најчешће инжењерске карактеристике, техничке спецификације или пословне захтеве чија се имплементација планира као одговор на специфициране захтеве.

Сегмент бенчмаркинг анализа служи за поређење производа у односу на вредности које нуде производи конкурената.

Матрица релација је централни сегмент НоQ-а, идентификује релација између установљених захтева (*ШТА*) и одговора чија се имплементација планира (*КАКО*). При чему се свакој откривеној релацији *ШТА-КАКО* додељује одговарајући симбол, лингвистичка карактеризација или нумеричка вредност која описује способност организације да дати захтев испуни.

Матрица аутокорејација (кров НоQ матрице) детектује аутокорејације између атрибута квалитета (*КАКО*), при чему позитивна корелација указује да су два елемента међусобно комплементарна, док негативна упозорава на конфликтне односе и потребу за компромисима.

Апсолутне и релативне тежине атрибута квалитета сублимирају резултате откривених релација *ШТА-КАКО*, стварајући основу за извођење ранга приоритета.

Циљане мере се уводе за сваки атрибут квалитета (*КАКО*) тако што се очекивања изражена кроз захтеве (*ШТА*) преводе у мерљиве индикаторе, стварајући основу за квантитативну анализу одступања постигнутих перформанси у односу на захтеване.

Ограничења конвенционалног QFD-а, приступи оптимизацији, нова подручја примене

Поред бројних погодности које QFD пружа, као што су могућност фокусирања на захтеве корисника од раних фаза развоја производа, већу конзистентност између планирања и дизајна производа, планирања процеса и захтева производње, одлучивање које је тржишно оријентисано и вођено преференцијама купаца, континуирано унапређење производа и процеса итд., конвенционални QFD приступ је често критикован због низа недостатака који ограничавају његову ефикасност и потенцијал примене.

Разматрајући кључне слабости или недовољно разрађене аспекте конвенционалног QFD концепта, *Jaiswal* [199] наглашава потребу за оптимизацијама у неколико приоритетних подручја, укључујући: развој нових модела за оцену улазних података у НоQ матрицу; побољшање ефикасности QFD анализе кроз интеграцију са другим техникама инжењеринга квалитета; отклањање типичних слабости инхерентних QFD процесу, као што су двосмислености и недоследности у исказивању захтева, конфликти међу захтевима, управљање обимним НоQ проценама итд. *Shi* и др. [372] такође указују на проблеме у домену оцене аутокорејација између атрибута квалитета.

Слабости конвенционалног QFD концепта најчешће се везују за извођење тежинских коефицијената атрибута квалитета (*КАКО*), наиме конвенционални QFD се ослања на једноставне методе пондерисања просечне вредности, што према *Shi* и др. [372] може резултирати пристрасним резултатом рангирања. Уз то, одређивање релативних приоритета захтева (*ШТА*) као улазних параметара у процес QFD анализе се ослања на субјективне преференције корисника, без системског приступа.

Најчешће критике конвенционалног QFD концепта се тичу недостатка одговарајућег приступа за моделовање неизвесности инхерентних QFD процесу. Субјективне перцепције чланова QFD тима су често непрецизне, не могу се егзактно исказати или аналитички описати, штавише, према Wang и др. [439] они могу оклевати око својих процена због временског притиска или недостатка података, због чега нумеричке вредности на скали од 1 до 9 коришћене у конвенционалном QFD приступу нису прикладне за моделовање непрецизности и неизвесности информација коришћених за QFD анализу.

Наиме, QFD анализа се изводи тако што се варијабле релевантне за QFD процес представљају као лингвистичке карактеризације, које омогућавају прецизније моделовање преференција QFD аналитичара, пре свега због несигурности повезаних са људским когнитивним процесом и ограниченог искуства или знања о појави која се разматра. Међутим, у конвенционалном QFD моделу, већина улазних лингвистичких варијабли се третирају као прецизне, па се као такве преводе у егзактне нумеричке вредности. Међутим због инхерентне непрецизности и двосмислености ових исказа, нарочито услед недоследности људске спознање и ограниченог искуства, прикладније је да се све вредности релевантне за QFD процес третирају као нејасне. Према Kahraman и др. [211], примена теорије фази скупова у QFD процесу омогућава да се лингвистичке варијабле третирају до приближне тачности, захваљујући њиховој нормалној, конвексној и континуираној функцији припадности ограниченог ослонца.

Од своје првобитне формулације до данас QFD је успешно коришћен у многим областима као свеобухватан алат за превођење потреба купаца, другим речима *гласа корисника* у спецификације производе и процеса. Временом QFD је прерастао у флексибилан методолошки оквир који се може надоградити или комбиновати са другим методологијама у циљу превазилажења недостатака његовог конвенционалног концепта, повећања ефикасности QFD процеса, и оно што је најважније, превазилажења традиционалних домена примене. Прегледом релевантне литературе, могуће је идентификовати модификације конвенционалног QFD приступа у неколико карактеристичних домена.

У циљу лакшег описивања неизвесности инхерентних QFD процесу новија истраживања имају тенденцију примене различитих приступа фазификације улазних података у QFD процес, укључујући и релације настале као резултат QFD анализе, бавећи се различитим аспектима који могу имати утицај на крајњи QFD резултат, као што су тип фази скупова, приступ дефазификацији итд. Неки од типова фази скупова који су до сада коришћени у циљу моделовања неизвесности у QFD процесу су: тзв. *picture fuzzy* скупови [250]; *Hesitant Fuzzy Linguistic Term* (HFLT) [309]; *q-rung orthopair fuzzy* бројеви [114]; *linguistic distribution assessment* [301]; *interval-valued intuitionistic fuzzy* скупови [462] *interval Pythagorean fuzzy* скупови [168]; IT2F [127]; *Double Hierarchy Hesitant Linguistic Term Sets* (DHNLT) [372], *spherical fuzzy sets* [451].

За разлику од конвенционалног приступа који се заснива на употреби једноставних метода пондерисања просечне вредности, одређивање ранга приоритета атрибута квалитета (КАКО) се данас често посматра као проблем вишекритеријумске анализе, у том контексту различите методе које подржавају овај концепт су имплементирани у поступак QFD анализе у циљу извођења прецизнијих релативних приоритета. Пример је интеграција EDAS методе у процес QFD анализе примењене у процесу развоја Panda аутомобила [266]. За исти проблем Wu и Liao [446] су развили интегрисани модел који комбинује ORESTE методу и QFD, уз употребу пробабилистичких лингвистичких термина. Xu и др. [451] користе COmbined COmpromise SOlution (CoCoSo) у комбинацији са сферичним фази бројевима за рангирање атрибута у QFD процесу примењеном у дизајну услуга у сектору туризма. У приступу који предлажу Wu и др. [444] Cloud MULTIMOORA базиран на моделу cloud теорије (C-MULTIMOORA) је интегрисан у QFD анализу, на примеру изведеном у

индустрији електричних аутомобила. *Nie* и др. [301] у процесу дизајна услуга здравствене заштите комбинују QFD са TODIM методом укључујући и употребу лингвистичке расподеле дистрибуције како би извели прецизније приоритете атрибута квалитета.

Интегрисање QFD поступка са различитим методама приоритизације омогућило је укључивање релативне важности разматраних захтева на објективнији начин. У том контексту QFD је до сада комбинован са неколико приступа као што су: DEMATEL метода [451]; ANP метода [407], ANP метода [238]; BWM метода [301]; TODIM метода [254].

Такође, литература бележи и друга методолошка унапређења чији је циљ оптимизација поступка QFD анализе. Рецимо, како би произвели ефекат интелигентних система *Bouchereau* и *Rowlands* [45] у QFD процес интегришу вештачке неуронске мреже и *Taguchi* методу. Један од приступа оптимизацији QFD процеса предложили су *Lee* и др. [245] комбиновањем QFD приступа са *Kano* моделом и фази скуповима, *Kano* модел омогућава ефикасније класификовање захтева корисника, док теорија фази скупова обезбеђује побољшање субјективне лингвистичке скале у *Kano* дводимензионалним елементима квалитета. Примери интеграције *Kano* модела и QFD приступа се често сусрећу у литератури, при чему се *Kano* модел користи за квалитативну и квантитативну анализу атрибута захтева у циљу категоризације захтева, укључујући односе између захтева и *Kano* категорије, док се добијени резултати интегришу у QFD анализу кроз различите моделе оптимизације [174, 175, 204]. Још један од приступа у оптимизацији процеса QFD анализе је примена статистичких метода, тако рецимо *Fung* и др. [142] користе асиметричну фази регресију за процену функционалних односа у QFD процесу у условима неизвесности, док *Chin* и др. [82] примењују методу доказаног расуђивања (енг. *Evidential Reasoning – ER*) за синтезу различитих типова информација у QFD анализи. *Wang* и др. [435] предлажу нови приступ QFD анализи који користи оператор агрегације са континуалним уређеним пондерисањем просечне вредности, развијен у окружењу *Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy (IVIF)* како би рефлектовали ставове појединаца према ризику, затим комбинује *Choquet* интеграл и К-адитивне мере у анализи корелација између захтева купаца, док мешовито целобројно програмирање користи при одређивању релативне тежине атрибута квалитета. Табела 9 пружа преглед методолошких унапређења конвенционалног QFD приступа и резултат је истраживања приказаног у раду *Пузовић* и др. [335]

Поред области развоја производа, за које је QFD иницијално развијен као алат за превођење захтева корисника у инжењерске карактеристике у којој се и данас доминантно користи, многи аутори преводе принципе QFD анализе на решавање различитих инжењерских проблема, указујући на применљивост овог приступа у многим областима. Тако рецимо *Bottani* и *Rizzi* [44] користе QFD приступ у области стратешког управљања логистичким услугама, аутори су развили методологију базирану на QFD анализи која је омогућила идентификовање одрживих стратегија за повећање ефикасности логистичких процеса.

Torkayesh и др. [414] су развили интегрисани систем подршке одлучивању при усвајању технологија у контексту Индустрије 4.0 комбинујући фази QFD, BWM и S-CoCoSo методе, при чему је QFD анализа коришћена у циљу генерисања тежина критеријума. У студији [126] аутори предлажу QFD базиран приступ за оптимизацију FMEA методе, при чему се однос између разлога за режиме кварова и начина квара разматра кроз QFD анализу, модел такође пружа нову перспективу за испитивање QFD корелација као лингвистичких термина коришћењем Бајесове мреже. Аутори *Yazdani* и др. [456] предлажу интегрисани приступ за избор добављача узимајући у обзир различите критеријуме еколошког учинка, комбиновањем DEMATEL, QFD и COPRAS методе. *Jia* и *Bai* [205] примењују QFD у процесу развоја производне стратегије као алат за повезивање фактора конкуренције са категоријама одлука у производњи, као што су структуралне и инфраструктурне категорије, примењујући QFD анализу у различитим фазама развоја производне стратегије.

Табела 9. Преглед методолошких унапређења конвенционалног QFD приступа [335]

Коришћени концепт	Домен унапређења	Студије
Picture fuzzy	Ефикасније моделовање неизвесности и неодређености инхерентних QFD процесу применом теорије фази скупова	[250]
HFLTS		[309]
Q-ROF		[114]
Linguistic distribution assessment		[301]
IVIF		[462]
IVPF		[168]
IT2F		[127]
DHHLTS		[372]
Spherical Fuzzy Sets		[451]
TODIM	Објективнија оцена односа између атрибута захтева и атрибута квалитета у QFD анализи, извођење прецизних и објективних релативних приоритета атрибута квалитета	[301]
C-MULTIMOORA		[444]
EDAS		[266]
ORESTE		[445]
CoCoSo		[451]
BWM	Приоритизација релативне важности атрибута захтева на систематичнији и објективнији начин	[301]
ANP		[238]
ANP		[407]
DEMATEL		[451]
Вештачке неуронске мреже и Taguchi	Стварање ефекта интелигентних система у циљу отклањања неких од кључних слабости QFD приступа	[45]
Kano и теорија фази скупова	Ефикасније класификовање атрибута захтева; побољшане субјективне језичке скале у Kano дводимензионалним атрибутима	[245]
Kano и нелинеарни целобројни модел програмирања	Проучавање природе захтева купаца и њихова боља класификација, укључивање резултата у QFD анализу различитим методама оптимизације	[204]
Kano, DEMATEL и нелинеарно програмирање		[175]
Kano и MPAGA		[174]
Hidden Markov model	Процена очекивања корисника коришћењем вероватноћа фокусних области које су од интереса за корисника, заснованих на параметрима одрживости	[40]
Асиметрична фази линеарна регресија	Процена функционалних односа у условима неизвесности	[142]
Evidential Reasoning	Синтеза различитих типова информација током QFD анализе, прецизније одређивање приоритета захтева дизајна уз узимање у обзир захтева и преференција купаца	[82]
IVIF; оператор агрегације са континуалним уређеним пондерисањем просечне вредности; Choquet интеграл; К-адитивне мере и мешовито целобројно програмирање	Рефлектовање ставова појединаца према ризику; анализа корелација између захтева купаца; одређивање релативних тежина атрибута квалитета максимизирањем корисности развојног тима и минимизирањем неслагања тима.	[435]

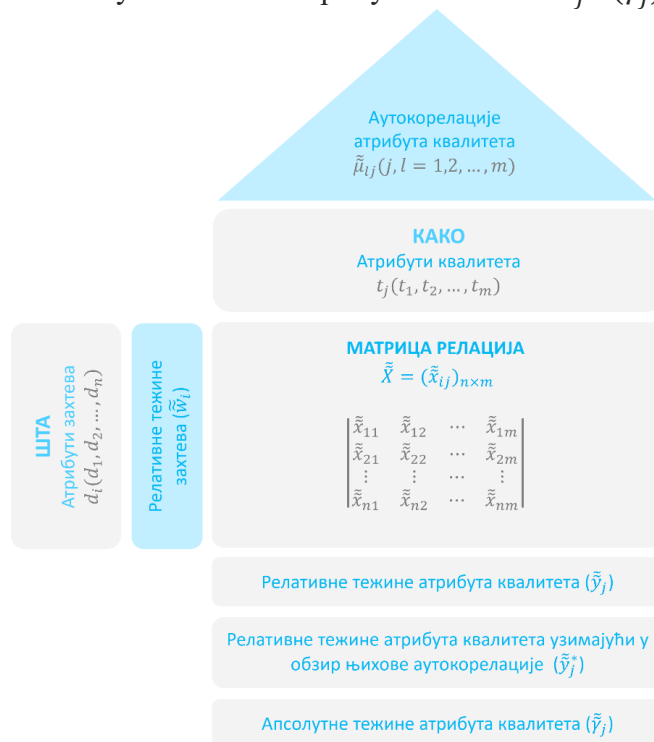
5.6 Модификовани QFD процес

Модел приказан у овом потпоглављу установљен је у раду *Пузовић* и др. [335]. Према моделу конвенционални QFD процес се комбинује са IT2F скуповима у циљу моделовања инхерентних непрецизности и двосмислености лингвистичких варијабли у QFD процесу, које произилазе из несигурности повезаних са људским когнитивним процесом као што су недоследност људског резонувања или колебања у процени услед ограниченог искуства или знања о појави која се разматра.

Предложени QFD процес се одвија кроз следеће кораке:

- Формирање QFD тима;
- Формирање листе захтева – атрибуту захтева (d_i);
- Одређивање релативног приоритета разматраних захтева ($\tilde{w}_i$);

- Идентификовање потенцијалних одговора на захтеве – атрибути квалитета (t_j);
- Формирање индивидуалних IT2F матрица релација ($\tilde{X}^l = (\tilde{x}_{ij}^l)_{n \times m}$);
- Формирање агрегатне IT2F НоQ матрице ($\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{n \times m}$);
- Одређивање IT2F релативне тежина атрибута квалитета t_j ($\tilde{y}_j$);
- Одређивање IT2F релативне тежине атрибута квалитета t_j узимајући у обзир аутокорељације $\tilde{\mu}_{lj} - (\tilde{y}_j^*)$;
- Одређивање IT2F апсолутне тежина атрибута квалитета $t_j - (\tilde{y}_j)$.



Слика 40. IT2FQFD анализа [335]

Претпоставимо да QFD процес разматра n атрибута захтева (*ШТА*) $d_i (i = 1, 2, \dots, n)$ и m атрибута квалитета (*КАКО*) $t_j (j = 1, 2, \dots, m)$ и нека су $\tilde{w}_i (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)$ IT2TrF релативне тежине додељене захтевима. Такође, нека QFD процес укључује K експерата $e_l (l = 1, 2, \dots, L)$ чије се оцене разматрају са истим релативним значајем. НоQ матрица релација атрибута t и d , развијена од стране l -тог експерта, може бити представљена као $\tilde{X}^l = (\tilde{x}_{ij}^l)_{n \times m}$. При чему је $\tilde{x}_{ij}^k$ процењени утицај атрибута t_j на атрибут d_i , који одражава способност j -тог атрибута t да задовољи i -ти захтев/потребу d , дефинисан од стране l -тог експерта, применом лингвистичких варијабли са вредностима исказаним у IT2TrF бројевима, према скали датај у табели 10.

Табела 10. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви у QFD процесу

Лингвистичке варијабле	IT2TrF бројеви
Веома низак	(0,0,0,0.1;1,1) (0,0,0,0.05;0.9,0.9)
Низак	(0,0.1,0.15,0.3;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)
Средње низак	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
Средњи	(0.3,0.5;0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
Средње висок	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
Висок	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)
Веома висок	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)

Консолидована мишљења експерата се могу обезбедити кроз процес агрегације применом следеће формуле:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^L \tilde{x}_{ij}^k}{L} \quad (47)$$

Чиме се конструише коначна HOQ матрица $\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{n \times m}$.

$$\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{n \times m} = \begin{matrix} & \begin{matrix} t_1 & t_2 & \cdots & t_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1m} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \cdots & \tilde{x}_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (48)$$

Релативне тежине атрибута t_j на основу идентификованих релација са атрибутима захтева d_i , установљених кроз HOQ матрицу $(\tilde{x}_{ij})$, узимајући у обзир релативне тежине додељене атрибутима захтева $(\tilde{w}_i)$, одређују се према:

$$\tilde{y}_j = \sum_{i=1}^m (\tilde{x}_{ij} \otimes \tilde{w}_i) \quad (49)$$

Релативне тежине атрибута t_j је могуће дефинисати узимајући у обзир њихове аутокорељације, на основу генеричких позиција из матрице аутокорељација $\tilde{\mu}_{lj}(j, l = 1, 2, \dots, m; j \neq l)$, које указују на корелацију која постоји између атрибута t_l и разматраног атрибута t_j , исказану лингвистичким варијаблама чије су вредности изражене у IT2TrF бројевима, користећи се скалом датом у табели 10. Према тумачењу које дају Tang и др. [403], аутокорељација $\tilde{\mu}_{lj}$ је инкрементална промена степена постизања j -ток атрибута t када се постизање l -тог атрибута t унитарно повећава. У том случају релативна тежина атрибута t_j , може бити дефинисана као:

$$\tilde{y}_j^* = \tilde{y}_j \oplus \sum_{l=1}^m (\tilde{\mu}_{lj} \otimes \tilde{y}_l) \quad (50)$$

Коначно, апсолутне тежине атрибута t_j се одређују поступком нормализације, према:

$$\tilde{\gamma}_j = \frac{\tilde{y}_j^*}{\sum_{j=1}^m \tilde{y}_j^*} \quad (51)$$

6 ПРЕДЛОГ ОКВИРА ЗА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈУ PLM КОНЦЕПТА

Као допринос превазилажењу недостатака или недовољно разрађених аспеката раније успостављених приступа, предложен је методолошки оквир за подршку имплементацији PLM концепта. Предложени оквир је инспирисан постојећим, емпиријски потврђеним методолошким приступима у овој области, у циљу повећања ефикасности и ефективности процеса имплементације PLM-а, приступ предложен у овом истраживању укључује или допуњује претходно успостављене иницијативе. У својој основи, оквир пружа опис генеричког процеса имплементације, осмишљен као скуп смерница за успостављање активности на увођењу PLM концепта које су одрживе и агилне, како би се континуирано испуњавали PLM циљеви у променљивим пословним околностима. Као кључни допринос у односу на претходно установљене приступе, предложени методолошки оквир уводи:

- методолошки приступ развоју оптималног модела процеса имплементације заснован на принципима вишекритеријумске анализе;
- референтни модел PLM функционалних подручја;
- модел одлучивања за евалуацију и избор софтверског решења које ће на оптимална начин подржати PLM стратегију предузећа.

Наведени методолошки приступи детаљно су представљени у поглављима 7 и 9. У наставку поглавља је представљен концептуални оквир имплементације PLM-а који се предлаже.

Предложени приступ се темељи на процесно оријентисаној парадигми, према којој је идентификовање, формално дефинисање и оптимизација организационих процеса, ревизија односа успостављених између ресурса које ангажују, оптимизација организационих механизма итд., у основи увођења PLM концепта. Док сам процес имплементације укључује четири међусобно синергичне перспективе, које уједно указују на кључне димензије развоја PLM компетенција:

- процеси (идентификовање, разумевање и усаглашавање организационих процеса са PLM моделом пословања);
- информационе технологије (изградња одговарајуће ИТ инфраструктуре, имплементација, интеграција и прилагођавања PLM решења, изградња конзистентних информационих структура и токова итд.);
- организација (редефинисање организационе структуре и улога и постојећих организационих система);
- људи и култура (изградња специфичне организационе културе; развој неопходних професионалних компетенција, мотивисање запослених за прихватање промена у организационом окружењу итд.).

Имајући у виду опсег пословних домена који морају бити оперативно интегрисани кроз PLM, имплементација овог концепта представља сложен процес, који мобилише значајне организационе ресурсе, доводи до радикалних организационих промена, укључујући снажене организационе, технолошке и бихевиоралне импликације. У циљу савладавања инхерентне сложености овог процеса, оквир предвиђа итеративни приступ имплементацији, према коме се PLM функционална подручја као делимични аспекти PLM-а, чија интеграција обезбеђује холистички приступ управљању животним циклусом производа, секвенцијално уводе у кохерентно, ИТ подржано PLM окружење, подржавајући на тај начин принцип еволутивног развоја организационих способности за доследну примену PLM-а. Овакав приступ олакшава интегрисање PLM технологија у пословне процесе и смањује ризик од неусаглашености имплементираних решења са пословним очекивањима, омогућава рано остваривање пословне користи од увођења PLM-а, утичући на оснаживање PLM иницијативе кроз јачање поверења у позитиван утицај PLM-а.

У циљу успостављања структурираног приступа, оквир дефинише генерички процес имплементације, који укључује три корака:

- иницијална фаза покретања и јачања PLM иницијативе у циљу прихватања PLM-а као стратешког опредељења организације и подстицања спремности на деловање у правцу његовог усвајања;
- PLM трансформација кроз планске активности на усаглашавању са PLM концептом на пословном и ИТ нивоу;
- контрола примене и континуирана унапређења за постизање одрживости исхода имплементације PLM-а.

Потреба за честим прилагођавањима у свим релевантним аспектима имплементације, иницираним променама у циљевима и обиму PLM иницијативе, подстакнутим процесима организационог учења о PLM-у и дубљим разумевања стварних пословних потреба, или услед континуираног усаглашавања са циљевима у променљивим пословним околностима итд., имплицира потребу за инкорпорирањем елемената агилног управљања у модел имплементације PLM-а. Са друге стране, како би се избегао крајње *ad hoc* начин рада, својствен агилним приступима, неопходно је обезбедити одговарајуће оквире за подршку контроли и планирању, ово заправо значи да је неопходно успоставити одређени компромис између традиционалних и крајње агилних приступа. У том контексту, оквир предвиђа да се процес непосредне имплементације PLM-а организује применом DSDM (енг. *Dynamic System Development Method*) модела итеративног и инкременталног развоја. Иако промовише принципе агилног управљања, DSDM користи одређене погодности својствене традиционалним приступима као што је фокус на квалитету и контроли, такође „тежи укључивању крајње агилних конструкција у структурирани и контролисани оквир избегавајући *ad hoc* начин рада“⁵⁶ настојећи да превазиђе неке од кључних слабости агилних приступа. Предложени приступ омогућава да се у процесу имплементације PLM-а задржи фокус на пословним потребама, што се манифестује кроз:

- правилно разумевање пословних потреба активним укључивањем актера оријентисаних на пословну перспективу решења које се развија;
- инкременталну испоруку решења у складу са пословним приоритетима;
- континуирану контролу усаглашености решења са пословним очекивањима;
- активно праћење промена у пословним потребама и њихову интеграцију у процес еволутивног развоја;
- благовремено интегрисање повратних информација о усаглашености решења са пословним потребама у процес еволутивног развоја.

Детаљнији опис DSDM модела и принципа на којим се темељи дат је у наставку.

6.1 DSDM модел итеративног и инкременталног развоја као подршка имплементацији PLM концепта

DSDM (Dynamic System Development Method) Agile Project Framework је методолошки оквир за агилно управљање, развијен од стране *Agile Business Consortium* [121] као еволуирана верзија првобитног DSDM модела - *DSDM Atern*. DSDM модел је развијен као покушај да се надограде првобитни облици итеративног и инкременталног развоја софтверских решења попут концепта тзв. брзог развоја апликација (енг. *Rapid Application Development-RAD*), при чему је задатак DSDM-а био да обезбеди већи фокус на квалитет. Иако првобитно намењен за развој софтверских решења, DSDM је данас увелико превазишао оквире ИТ пројеката и широко се примењује за управљање различитим подухватима у пословном окружењу. Иако промовише принципе агилног управљања, DSDM комбинује одређене

⁵⁶ *DSDM Consortium* (2014)

погодности традиционалних приступа, такође, за разлику од већине агилних приступа, DSDM се бави ширим контекстом проблема, наиме, није ограничен искључиво на развој и испоруку софтвера, већ се фокусира на шире пословне потребе и разматра све аспекте решења које се развија. Основу DSDM методолошког оквира чини концепт итеративни развој/интегрисана тестирања/инкрементална испорука. Наиме, развој решења се одвија кроз циклусе итеративног развоја који се изводе кроз један или више временских интервала поновљиве структуре са ограниченим трајањем. При чему сваки циклус резултира инкременталним повећањем решења које се може оперативно применити, манифестујући на тај начин принцип еволутивног развоја. Овакав модел ефикасно реагује на промене интегрисујући их интерактивно у процес еволутивног развоја, чиме промовише основни принцип агилности и омогућава испоруку решења које је усаглашено са актуелним пословним потребама. Међутим, за разлику од већине агилних приступа интегрисање промена у циклусе итеративног развоја је формално контролисано како би се обезбедила контрола над обимом пројекта и одржала усклађеност са пословним циљевима. Модел следи приступ инкременталне испоруке решења, према коме се изграђени инкременти решења који су верификовани као технички и пословно прихватљиви итеративно уводе у оперативну примену. Итеративним развојем и испоруком решења омогућава се правовремено интегрисање повратних информација о решењу које се испоручује у DSDM процес, што пружа подршку у развоју технички одрживог решења усаглашеног са постављеним стандардима квалитета и стварним пословним потребама.

Један од кључних принципа које DSDM промовише је укључити што је више могуће активности обезбеђења квалитета током целокупног процеса еволутивног развоја. Наиме, према DSDM моделу тестирање је у потпуности интегрисано као део итеративног и инкременталног приступа развоју и представља интегрисани део циклуса развоја и испоруке решења. Такође, DSDM процес предвиђа честе прегледе остварених повећања током еволутивног развоја чиме се благовремено стиче увид у квалитет решења и ефикасност процеса. Овакав приступ смањује ризик од касног откривања грешака и осигурава да испоручени инкременти решења, појединачно и у интеракцији, задовољавају предвиђене стандарде квалитета.

Иако промовише основне принципе агилног управљања, DSDM настоји да превазиђе неке од кључних слабости које се приписују агилним приступима. Наиме, он пружа оквир за подршку контроли и планирању, који изостаје у већини агилних модела, стварајући на тај начин одређени компромис између традиционалних и крајње агилних приступа. У односу на традиционални приступ према коме се сви елементи анализе и дизајна реализују у почетним фазама, DSDM полази од агилног начина размишљања према коме у условима променљивих пословних околности није могуће дефинисати све захтеве на које решење треба да одговори у раним фазама, будући да већина њих постаје *видљива* тек након што отпочну циклуси итеративног развоја. Са друге стране, за разлику од крајње агилних приступа које карактерише одсуство било каквог претходног плана што је у ствари *ad hoc* приступ који са собом носи многе ризике, DSDM заговара принцип према коме се одређени елементи анализе и дизајна реализују пре циклуса еволутивног развоја како би се обезбедило базично разумевање пословног проблема и потенцијалног решења, при чему се избегавају детаљне и сувише формализоване спецификације. На овај начин се ствара тзв. *чврста основа* за итеративни развој решења, омогућава планирање и контрола циклуса еволутивног развоја, док се истовремено задржава принцип агилности.

Један од кључних вредности DSDM приступа је успостављање компромиса између захтева према коме квалитет не сме бити подложен компромису и обезбеђивања благовремене испоруке решења према унапред договореним роковима. Насупрот традиционалним приступима код којих се у изградњи решења тежи испуњавању свих захтева, што у

условима временских ограничења често компромитује квалитет, фокусирањем на приоритетне захтеве могуће је изградити већи део вредности решења који најчешће представља довољан ниво квалитета, а при томе остати у оквирима временских ограничења. Такође, DSDM промовише значај интерактивне сарадње свих заинтересованих страна, нарочито укључивање улога које виде решење из пословне перспективе. Препоручени модел DSDM тима комбинује пословну, техничку и перспективу управљања.



Слика 41. DSDM генерички процес [121]

DSDM приступ дефинише скуп производа који се успостављају и развијају током пројекта, описују решење, пружају подршку у његовом развоју, контроли и управљању пројектом. Ово укључује почетни пословни случај и листу захтева на које решење треба да одговори; архитектуру решења, односно спецификацију која пружа оквир за функционални, технички и системски дизајн решења, укључујући приступ развоју решења; као и план испоруке који пружа распоред инкременталних повећања пројекта. У фази изводљивости ови елементи се креирају у виду нацрта који пружа довољну подлогу за рационалну оцену изводљивости пројекта, ниво детаља које укључују у фази основе треба да демаркира обим пројекта, омогући основно разумевање пословних и техничких аспеката решења и пружи реалну основу за одобрење пројекта. Наведени елементи се детаљније разрађује паралелно са циклусима еволутивног развоја.

6.2 Генеричка структура предложеног процеса имплементације PLM концепта

Предложени оквир дефинише генеричку структуру процеса имплементације PLM-а (слика 42), дајући преглед основних активности и њихових импликација. Предложена структура илуструје прогрес имплементације од формалног успостављања PLM иницијативе и покретања процеса организационог учења о PLM-у, до имплементираног концепта на пословном и ИТ нивоу у складу са дефинисаним циљевима, чија се примена континуирано прати и унапређује. У основи оперативног дела имплементације је итеративни приступ, конципиран према принципима DSDM модела, чиме се осигурава:

- Боља контрола и већа транспарентност напретка - благовремени увид у ефикасност процеса имплементације и квалитет решења које се развија;
- Инкрементална испорука решења у складу са пословним приоритетима;
- Рано остваривање пословне користи од имплементације PLM-а и већа мотивисаност учесника кроз јачање поверења у позитивне ефекте имплементације PLM-а;
- Имплементација PLM приступа сагласно стварним пословним потребама предузећа и правовремено реаговање на евентуалне неусаглашености;

- Благовремено интегрисање повратних информација о решењу које се испоручује у процес еволутивног развоја;
- Смањен ризик од испоруке нефункционалних решења;
- Интегрисање промена у захтевима у процес еволутивног развоја на ефикасан и контролисан начин.

Кратак опис предложеног генеричког процеса имплементације дат је у наставку.

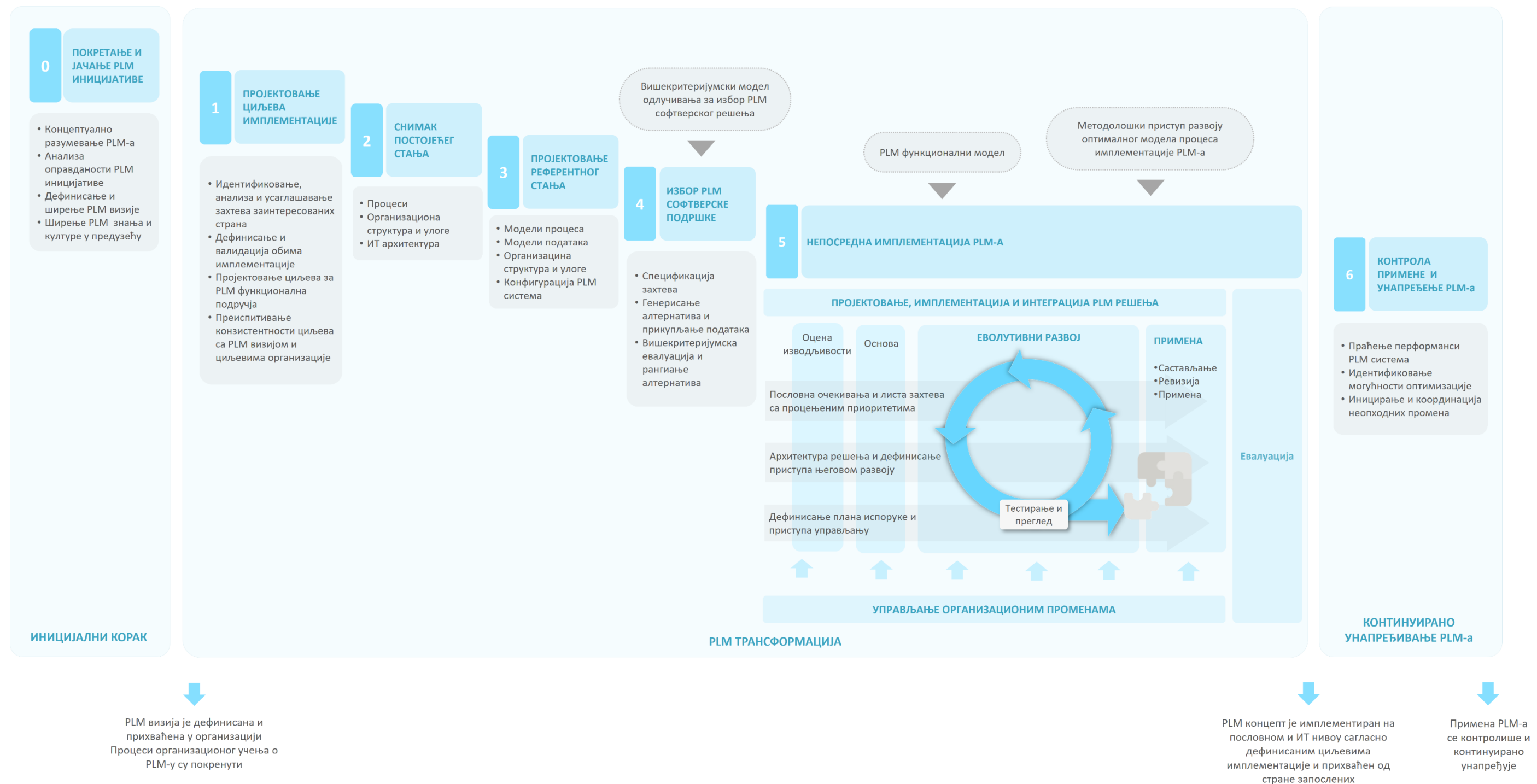
6.2.1 Покретање и јачање PLM иницијативе

Покретање и јачање PLM иницијативе представља нулти, иницијални корак имплементације чији је циљ разумевање потребе за променама, прихватање PLM-а као стратешког опредељења организације и подстицање спремности на деловање у правцу његовог усвајања. PLM-а се заправо мора разумети као стратешка пословна иницијатива, која се покреће на највишем нивоу организације и као таква подстиче, обједињује и усмерава неопходне организационе напоре ка усвајању PLM-а. На основу доступних теоријских тумачења јачање пословне иницијативе се може разумети као подстицање спремности да се покрену активности, пројекти или други плански напори ка остваривању специфичних циљева иницијативе, уз веровање у вредност очекиваних исхода без обзира на пратећи ризик, у том контексту овај корак укључује елементе наведене у наставку.

Концептуално разумевање PLM-а као предуслов за развој свести о значају PLM-а, правилно разумевање PLM пословног модела и дефинисање PLM визије и циљева имплементације захтева успостављање процеса организационог учења о PLM-у. Имајући у виду њен стратешки карактер, одлука о имплементацији PLM-а мора бити иницирана и подржана од стране највишег нивоа хијерархијске структуре предузећа, који покреће и надгледа пројекте имплементације, обезбеђује неопходне ресурсе и стратешке смернице за све учеснике иницијативе итд., због чега процес организационог учења о PLM-у започиње управо на овом нивоу, при чему је неопходно сагледати:

- Теоријска тумачења PLM-а (усвајање холистичке дефиниције PLM-а) и PLM опсег;
- Пословне вредности PLM-а;
- Релевантне аспекте имплементације за успостављање холистичког приступа;
- Технолошки контекст PLM концепта;
- Организационе и технолошке способности за доследну примену PLM-а;
- Утицај и улогу људи из различитих процеса и нивоа организације;
- Кључне информације у PLM окружењу итд.

Анализа оправданости PLM иницијативе укључује предиктивне оцене које се врше како би утврдила оправданост улагања у PLM технологије и проценила њихова пословна вредност за организацију. Ове анализе обухватају неколико аспеката, при чему је најпре неопходно размотрити релевантност PLM приступа за предузеће, узимајући у обзир факторе специфичне за индустрију, попут сложености производа и специфичности његовог животног циклуса, развојних покретача индустрије (маркетинг, технологије итд.) и факторе специфичне за предузеће као што је положај у ланцу снабдевања, производна стратегија итд. Важан аспект ових анализа је процена економске ефикасности применом доступних модела инвестиционе анализе, при чему се у предиктивним анализама ове врсте очекиване варијабле користи и трошкова одређују на основу самопроцена или емпиријских разматрања заснованих на аналогiji. Такође, имајући у виду да су многе користи генерисане имплементацијом PLM-а често имплицитне природе као што је стандардизација процеса, успостављање конзистентних токова информација итд., због чега их је готово немогуће изразити у монетарном смислу, важно је разумети како имплементација PLM доприноси ширим организационим циљевима.



Слика 42. Предлог генеричког процеса имплементације PLM-а

Дефинисање и ширење PLM визије која обједињује и усмерава организационе напоре ка усвајању PLM-а и служи као алат за вербални опис жељеног стања након имплементације, на концизан, опште разумљив и афирмативан начин. Изјава о PLM визији служи за пројекцију дугорочног, стратешког циља имплементације, који се дефинише на неутралан начин, међутим, она не пројектује идеалистичку слику будућности, већ се развија узимајући у обзир реалне пословне околности ППС-а. „PLM визија служи и као комуникационо средство које општи циљ имплементације чини транспарентним и јасним за све заинтересоване стране у процесу имплементације.“⁵⁷ Формулише се тако да садржи јасну изјаву о пословним вредностима које предузеће имплементацијом PLM-а жели остварити, јачајући на тај начин свест о значају трансформационих напора, истовремено представља својеврсан мотивациони подстицај за све учеснике имплементације. Ширење PLM визије на запослене има за циљ да убеди запослене у значај онога што се кроз визију пропагира, још важније, у њену остварљивост. Ово, између осталог, захтева правилну интерпретацију вредности које се имплементацијом PLM-а могу остварити. У самом процесу имплементације PLM визија има улогу механизма за преиспитивање и проверу конзистентности општих циљева имплементације и предузетих иницијатива. Као резултат процеса организационог учења који се током имплементације PLM-а успоставља, визија може бити подложна ревидирањима, ово такође омогућава да се провери њена актуелност у односу на тренутне пословне околности и циљеве ППС-а.

Ширење PLM знања и културе у предузећу укључује покретање програма ране едукације о PLM-у као пословном приступу, новом начину рада и променама које подразумева, потенцијалним користима и позитивним искуствима из индустрије. На овај начин се запослени укључују у процесе организационог учења о PLM-у од раних фаза имплементације чиме се подстиче:

- да се PLM концептуално разуме и посматра као конкурентска предност и кључна пословна вредност организације;
- прихватање PLM визије као заједничке вредности свих запослених;
- ураћање PLM културе у организациону културу предузећа;
- смањење отпора запослених према променама и стимулисање за прихватање нових начина рада и
- активно укључивање крајњих корисника у процес имплементације.

Иако се наводи као засебан корак, ширење PLM знања и културе у предузећу није дискретна фаза сама по себи, већ континуиран процес који се мора одржавати током целокупног пројекта имплементације.

6.2.2 PLM трансформација

PLM трансформација обухвата планске активности на усаглашавању пословања са PLM концептом, укључујући различите иницијативе за променама на пословном и ИТ нивоу. У контексту предложеног оквира, PLM трансформација се заснива на процесно оријентисаном приступу, комбинованом са принципима итеративног и инкременталног развоја.

Пројектовање циљева имплементације

Пројектовање циљева имплементације захтева идентификовање, анализу и усаглашавање захтева свих заинтересованих страна, дефинисање и валидацију обима имплементације за који се може очекивати да ће се ти захтеви постићи, такође, захтева јасно формулисање пословних очекивања, ово укључује и дефинисање индикатора за праћење и оцену напретка

⁵⁷ Arnold и др. (2011)

имплементације и преиспитивање конзистентности пројектованих циљева са PLM визијом и организационим циљевима.

Циљеви дефинисани на овом нивоу пројектују иницијални обим и индикативни временски и финансијски оквир пројекта и стварају основу за развој почетног пословног случаја, са описом пословних очекивања на начин који омогућава јасно разумевање очекиваних исхода пројекта имплементације и образложењем оправданости пројекта, укључујући и елементе као што су анализа ризика, фактори успеха, анализа заинтересованих страна итд. Што има задатак да усмерава пројекат осигуравајући његову усаглашеност са циљевима имплементације, такође подржава праћење и оцену пројекта. При чему се, како пројекат напредује кроз наредне фазе, перманентно ревидира, што укључује и преиспитивање захтева заинтересованих страна, како би се постигла агилност у односу на промене у стварним околностима.

Такође, неопходно је успостављање механизма за идентификовање, планирање и управљање испоруком пословних користи за које се очекује да ће се увођењем PLM-а генерисати, ово између осталог подразумева претварање пројектованих циљева у користи које се могу пратити и мерити, утврђивање како се ова побољшања могу постићи на основу пословних промена и нових ИТ могућности, дефинисање одговорности итд.

Снимак постојећег стања

Снимак постојећег стања има задатак да демаркира тренутне пословне и технолошке способности ППС-а за примену PLM-а. Основу ове анализе чини спецификација и формално описивање кључних елемената PLM окружења применом приступа заснованих на моделима, укључујући:

- процесе;
- организацију и
- ИТ архитектуру предузећа.

Најважнији аспект ове анализе се односи на процесе, чија анализа и формално документовање даје аналитички поглед на организацију из процесне перспективе, олакшавајући анализу зрелости процеса да подрже PLM приступ и пројектовање решења за њихово усаглашавање укључујући и анализу утицаја потенцијалних промена. Приступ предложен у овом истраживању се заснива на BPM (енг. *Business Process Management*) методологији, према којој се први корак анализе односи на мапирање и формално документовање архитектуре процеса организације, при чему је неопходно усагласити њен обим и фокус са потребама пројекта имплементације PLM-а. Према *Jeston* [203] развој конзистентне архитектуре процеса неке организације захтева:

- разумевање пословних основа за шта је неопходно сагледати опште циљеве и принципе, употпуњене са имплицитним претпоставкама и смерницама;
- дефинисање смерница за процесе (власништво над процесима и њихове границе, одлуке о употреби релевантних референтних модела процеса итд.); развој модела процеса организације који илуструје макро структуру процеса организације, за шта је могуће користити дијаграм организационог процеса и листу тзв. *end-to-end* процеса;
- мапирање ИТ архитектуре предузећа чиме је могуће употпунити архитектуру процеса детаљима у вези са релевантним информационим и технолошким моделима (модел података, ИТ алати и апликације и повезани интерфејси, платформе итд.).

Ово укључује и дефинисање елемената као што је мапа организационих односа.

На следећем нивоу, анализа подразумева систематизацију и формално документовање знања о процесима, применом одговарајућих алата за моделирање пословних процеса који чине основу конзистентног описа процеса на начин који омогућава недвосмислено

разумевање њихове сложене семантике, анализу и оптимизацију, мапирање техничких захтева на исправан начин, једноставан трансфер знања о процесима итд. За ову врсту анализе најприкладније је користити моделе засноване на техници дијаграма тока као што су модели засновани на BPMN стандарду, који детаљно специфицирају кораке, учеснике и логику одвијања процеса. Модели процеса треба да буду развијени до нивоа детаља који омогућава заједничко разумевање тренутног стања процеса у оквиру делокруга пројекта имплементације PLM-а и пружа ефикасно комуникационо средство између интердисциплинарних учесника пројекта. Такође, на начин који обезбеђује разумевање утицаја на друге процесе организације, разумевање и документовање интерфејса за постојеће ИТ системе и апликације. Следи провера конзистентности дефинисане архитектуре и модела процеса и неопходна консолидовања. Ово укључује и успостављање одговарајућег механизма управљања променама, како би се одржавала релевантност процесне документације током целокупног пројекта имплементације.

Пројектовање референтног стања

Фаза пројектовања референтног стања укључује:

- редизајн и формално документовање процеса у складу са PLM циљевима;
- дефинисање и прилагођавање модела података;
- прилагођавање организационе структуре и улога како би подржали будуће процесе;
- конфигурацију PLM решења.

Основу пројектовања референтног стања чини модификација и прилагођавање тренутних процеса како би подржали пројектоване PLM циљеве узимајући у обзир свеобухватне пословне околности ППС-а. Приступ који се предлаже се заснива на BPM методологији.

Пројектовање решења оптималних за организацију захтева преиспитивање тренутне парадигме пословања и постојећих приступа. При чему је у развоју потенцијалних решења неопходно следити PLM концепт, развијајући сценарије како би процеси изгледали са интегрисаним PLM приступом, узимајући у обзир истовремено технолошке могућности и ограничења PLM-а, односно како процеси могу бити подржани доступним PLM технологијама. Ова решења су најчешће заснована на препорученој најбољој пракси у примени PLM-а или референтним моделима прилагођеним контексту организације, узимајући у обзир пословно окружење, организациону културу, организациона правила, стандарде и процедуре који регулишу процесе итд. Развој потенцијалних решења је подржан њиховим формалним документовањем кроз моделе процеса који омогућавају апстраховање релевантних информација о концепту који се развија и његову интерпретацију на начин прикладан за разумевање и олакшану комуникацију између интердисциплинарних учесника пројекта имплементације.

Следи оцена развијених решења за будуће процесе, на основу критеријума као што су изводљивост и трошкови имплементације, конзистентност са PLM циљевима, потенцијални утицај на перформансе пословања, оперативни ризици итд. За тестирање логике и конзистентности процеса и процену њихове изводљивости могуће је користити методе симулације укључујући различите сценарије за тестирање метрика и претпоставки, ово укључује и различите анализе за процену динамичких интеракција између процеса. Такође је потребно извршити процену да ли ће процеси моћи да буду подржани из перспективе PLM технологија, укључујући и способност процеса да подрже PLM циљеве.

Анализа јаза између постојећих и редизајнираних процеса указује на карактер и величину промена, пружа основу за анализу захтева везаних за реструктурирање организационих улога и модификацију организационе структуре како би на ефикасан начин подржали нове процесе, укључујући и развој неопходних професионалних компетенција.

На основу претходних анализа неопходно је дефинисати процесе којима би се могло управљати у PLM систему, што ствара основу за конфигурисање PLM система, односно одабир PLM алата и модула који ће бити имплементирани, при чему је неопходно разумети функционалне могућности PLM решења доступних на тржишту.

Избор софтверске подршке за имплементацију PLM-a

Избор софтверског решења које ће на оптималан начин подржати успостављање PLM стратегије у околностима специфичним за предузеће се своди на проблем избора комерцијалног PLM решења које пружа основно решење као оквир који се може конфигурисати или прилагодити у складу са дефинисаним PLM циљевима, што је најчешћа стратегија развоја PLM система у пракси. Избор решења се врши у складу са функционалним, техничким и организационим захтевима изведеним на основу дефинисаних PLM циљева, узимајући у обзир постојећа техничка ограничења и претпоставке. Процес евалуације и избора решења предвиђен оквиром се заснива на интегралном моделу вишекритеријумске анализе, детаљно представљеном у поглављу 9.

Непосредна имплементација PLM-a

Непосредна имплементација се односи на оперативни део фазе PLM трансформације и подразумева прелазак на нови, редизајнирани оперативни модел, пројектовање, имплементацију и пуштање у рад PLM технолошког решења, уз перманентно преиспитивање захтева и ревидирања пословних очекивања и циљева имплементације. Сагласно предложеном оквиру, фаза непосредне имплементације се изводи кроз итерације, укључујући две међусобно синергичне перспективе:

- пројектовање, имплементација и интеграција PLM технолошког решења укључујући прилагођавање основног решења на административном, логичком и функционалном нивоу, припрема и миграција старих података, тестирање и пуштању у рад софтверског решења итд.;
- управљање организационим променама.

Фаза непосредне имплементације се изводи сагласно DSDM моделу прилагођеном пројектима имплементације PLM-a, на основу ког је могуће успоставити структуриран процес који пружа подршку у изградњи PLM система на итеративан и инкременталан начин, узимајући у обзир пословни аспект имплементације PLM-a. Према овом моделу, PLM систем се испоручује кроз инкременте (модуле, функционалне надоградње итд.), који се граде кроз циклусе еволутивног развоја, чиме се постепено приближава оптималној конфигурацији у складу са пословним потребама и њиховим приоритетима. Ове итерације се изводе кроз циклусе еволутивног развоја који могу укључити један или више временских оквира од којих сваки резултира инкременталним повећањем као етапом у развоју коначног решења. Ова повећања се, верификована као технички и пословно прихватљива, итеративно уводе у оперативну примену, што подстиче агилност, лакше суочавање са променама у стварним околностима, интегришући их интерактивно у процес еволутивног развоја на формално контролисан начин. Са друге стране, стандардизована структура временских оквира омогућава да се еволутивни развој одвија као контролисан процес.

Сваки од циклуса садржи три компоненте итеративног карактера, које се изводе према DSDM моделу детаљно описаном у потпоглављу 6.1, укључујући еволутивни развој, примену и оцену напретка, док су активности тестирања у потпуности интегрисане у циклусе еволутивног развоја и испоруке решења, ово укључује и успостављање ефикасног механизма повратних информација из тестирања и прегледа решења и њихово правовремено интегрисање у циклусе еволутивног развоја, како би се избегао ризик од грешака, испунили стандарди квалитета и осигурала усаглашеност са пословним очекивањима.

Успостављање PLM технолошког решења се одвија у синергији са управљањем организационим променама у циљу усвајања новог оперативног модела, што укључује имплементацију циљаних процеса, промене у организационој структури и покретање нових организационих улога, како би се подржали процеси и осигурало структурирано радно окружење. Ово укључује и развој професионалних компетенција специфицираних на основу процесне документације, развој стратегије и плана обуке, креирање материјала и програма обуке, дефинисање медија обуке итд. Овакви програми укључују обуку за рад на софтверским решењима, упознавање са новим процесима, појашњавање улога итд., анализа повратних информација обуке и неопходна ревидирања релевантних елемената. Важан аспект овог процеса је и мотивисање запослених за прихватање промена, укључујући и подршку у индивидуалној трансформацији запослених у процесима промена, развој свести о сопственом доприносу циљевима имплементације, промовисање позитивних резултата имплементације и јачање поверења у оправданост PLM иницијативе.

Фаза непосредне имплементације укључује и систематско праћење и евалуацију резултата имплементације, периодично у току пројекта, на нивоу појединачних инкремената и по завршетку пројекта, након одређеног периода активне примене PLM решења, неопходног за генерисање пословних користи. Ово укључује и успостављање адекватног механизма извештавања. При чему је неопходно обухватити:

- праћење ефикасности процеса имплементације (да ли се имплементација изводи у оквирима датих буџетских и временских ограничења);
- тестирање решења у односу на пословне захтеве, интеграцију у свакодневну радну рутину корисника, њихове имплицитне претпоставке и очекивања;
- праћење перформанси PLM система у циљу мерења његових пословних вредности.

Системско праћење и евалуација пројекта имплементације обезбеђује благовремене повратне информације које могу бити катализатор за даље промене уколико пројекат не испуњава пословна очекивања; одржава усклађеност пројекта са дефинисаним циљевима имплементације; обезбеђује транспарентност напретка и одржава неопходно поверење заинтересованих страна у оправданост имплементације; омогућава стицање знања које доприноси одрживости исхода пројекта имплементације итд.

6.2.3 Контрола примене и унапређење PLM-а

Сходно захтеву да се имплементација PLM-а мора поставити као трајни задатак ППС-а, односно као непрекидни процес сазревања у примени PLM-а, како би се континуирано испуњавали PLM циљеви у променљивим пословним околностима, оквир предвиђа постпројектну фазу имплементације, чији је циљ успостављање механизма за постизање одрживости исхода пројекта имплементације PLM-а. При чему се одрживост односи на способност стварања вредности за све заинтересоване стране на континуираној основи. У том контексту задатак ове фазе је подршка институционализацији PLM-а у организацији, те да побољшања генерисана његовом имплементацијом прерасту у одрживу пословну вредност уз континуирана усаглашавања са променама у пословним околностима и циљевима предузећа. Ово захтева стварање механизма за контролу примене и континуирана унапређења PLM-а, при чему је кључно успостављање јасних улога и одговорности, што би могло да значи именовање PLM координатора задужених за праћење перформанси система, идентификовање могућности оптимизације, иницирање и координацију неопходних промена. Ово између осталог подразумева дефинисање индикатора који ће се пратити и циљаних перформанси уз стално преиспитивање њихове релевантности у односу на актуелне пословне околности и циљеве предузећа. Иницијативе за унапређења могу доћи и од захтева за прелазак на виши ниво PLM зрелости, повратних информација од корисника о проблемима у раду итд.

7 РАЗВОЈ ОПТИМАЛНОГ МОДЕЛА ПРОЦЕСА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ PLM КОНЦЕПТА

Предложени приступ развоју оптималног модела процеса имплементације је развијен у склопу методолошког оквира за подршку имплементацији PLM-a, који је у оквиру дисертације дефинисан и представљен у поглављу 6.

У основи процеса имплементације који се предлага је итеративни приступ, према коме се специфична PLM функционална подручја, као делимични аспекти холистичког PLM-a, секвенцијално интегришу у кохерентно, софтверски подржано PLM окружење, манифестујући на тај начин еволутивни приступ у развоју специфичних способности ППС-а за доследну примену PLM-a. Међутим, постојећа литература не упућује на јединствен индикатор, приступ или методологију која може подржати утврђивање приоритета у имплементацији PLM-a на доследан и објективан начин, док доступни методолошки оквири у овој области не пружају холистички приступ који разматра све релевантне аспекте неопходне за правилно разумевање пословних потреба, не узимају у обзир шире пословне околности и најчешће нису довољно интуитивни за крајње кориснике. Имајући у виду наведено циљ предложеног методолошког приступа је да пружи објективне смернице за успостављање оптималног модела процеса имплементације PLM-a који на експлицитан начин одражава пословне приоритете, узимајући у обзир специфичне пословне околности.

Све више пословних система усваја стратегију према којој се PLM успоставља као део ширих иницијативе за оснаживање иновационог потенцијала ППС-а, што произилази из чињенице да у пословним околностима које су на снази, кључна детерминанта конкурентске снаге предузећа постаје његов иновациони потенцијал, мерен кроз способност предузећа да развија технолошки супериорне и тржишно одрживе иновације производа. Водећи се наведеним, приступ који се предлага има за циљ да успостави модел развоја PLM компетенција који на ефикасан начин подржава развој организационих компетенција и динамичких способности за развој технолошки супериорних и тржишно одрживих иновација производа, као кључне компоненте иновационог система предузеће.

Сагласно наведеном, циљ предложеног методолошког приступа је да обезбеди:

- контекст у коме предузећа могу разумети приоритете имплементационих напора у специфичним пословним околностима;
- објективне смерница за формулисање PLM стратегије оријентисане ка развоју иновационих потенцијала предузећа.

Питање успостављања оптималног модела процеса имплементације у предложеном приступу се посматра као проблем вишекритеријумске анализе и своди се на извођење композитног индекса корисности функционалних аспеката PLM-a, која се у контексту предложеног приступа третирају као специфичне области развоја PLM компетенција. С тим у вези, предложени методолошки оквир дефинише:

- **референтни PLM функционални модел**, који систематизује области развоја PLM компетенција, дефинишући функционална подручја која морају бити оперативно интегрисана и координисана у оквиру кохерентног PLM софтверског окружења у циљу потпуне и доследне примене PLM приступа и пружа референтни оквир за дефинисање PLM стратегије ППС-а. Модел који се предлага уведен је у потпоглављу 7.10;
- **вишекритеријумски приступ *ex-ante* евалуације PLM функционалних подручја** који укључује предиктивне процене у циљу анализе релативног приоритета специфичних области развоја PLM компетенција, обједињујући више аспеката у јединствени оквир евалуације. Предложени концепт евалуације детаљно је представљен у потпоглављу 7.3.

Предложени модел *ex-ante* евалуације, може имати концептуалну улогу која се односи на разумевање пословних вредности PLM-а и његових функционалних аспеката за организацију и инструменталну, оријентисану на предузимање одлука на основу резултата евалуације у домену иницирања, селекције и управљања портфолиом пројеката имплементације PLM-а, формулисања стратегије имплементације, алокације пројектних ресурса, итд.

Сагласно предложеном концепту развијен је интегрални вишекритеријумски модел оптимизације процеса имплементације PLM-а (представљен у потпоглављу 7.4) који као своје парцијалне моделе интегрише аналитичке оквири, од којих сваки пружа структурирану, научно засновану методологију евалуације. У том контексту, развијено је укупно пет модела, који су представљени кроз засебне целине у оквиру овог поглавља (од 7.5 до 7.9).

Развијени методологија евалуације се заснива на АНР и MULTIMOORA методама вишекритеријумског одлучивања и QFD методи, чији су математички модели развијени у IT2F окружењу у циљу ефикасног моделовања инхерентних неодређености и несигурности повезаних са људским когнитивним процесом, као што су немогућност исказивања перцепција или знања о појави на апсолутно прецизан начин у ситуацијама које су недовољно дефинисане или превише сложене, недоследност људског резонувања, колебање у расуђивању итд.

Треба нагласити да циљ предложеног приступа није генерисање инструкција за будуће напоре у имплементацији PLM-а на експлицитан начин, међутим може се очекивати да ће резултати добијени његовом применом бити од помоћи доносиоцима одлука при разумевању приоритета у имплементацији PLM-а и пружити објективне смернице за успостављање оптималне стратегије имплементације PLM-а у реалним пословним околностима предузећа. Иако не генерише егзактан план имплементације, овакав приступ пружа контекст за развој таквих планова у околностима специфичним за предузећа.

Наставак поглавља је структуриран на следећи начин: у првом делу се разматра проблем планирања имплементације PLM-а са критичким освртом на постојеће методолошке приступе у овој области; други део поглавља пружа дубљи теоријски поглед на проблем евалуације пословних информационих система; трећи део концептуално дефинише предложени приступ *ex-ante* вишекритеријумске евалуације PLM функционалних подручја и упућује на научну утемељеност предложеног концепта. Следи приказ интегралног вишекритеријумског модела након чега су кроз засебне целине уведени аналитички оквири дефинисани у склопу интегралног модела. У последњем делу поглавља је представљен PLM функционални модел, са структуралним приказом и концизним описима специфичних функционалних аспеката PLM-а.

7.1 Приступ планирању имплементације PLM-а

Постојећи приступи планирању имплементације PLM-а су најчешће засновани на концептуалним оквирима за успостављање тзв. *путоказа имплементације*. Концепт се заснива на евалуацији развојног статуса пословног и технолошког система организације у циљу спецификације будућих корака у имплементацији PLM-а. Као основу за то многе студије уводе идеју PLM зрелости, преузету из области развоја софтвера. Слично моделима зрелости у другим областима, који се могу користити у функцији путоказа за прилагођавање новим пословно-технолошким концептима водећи се нивоима зрелости као етапама еволутивног развоја, у својој основи концепт PLM зрелости подржава постепени приступ имплементацији. Истовремено покушава да превазиђе приступ оријентисан

искључиво на технологије док остале области управљања, као што су стратегија, процеси, запослени и њихове вештине остају занемарене или недовољно усаглашене.

Полазећи од приступа према коме се имплементација PLM-а поистовећује са идејом сазревања, према којој, пре него што имплементира PLM-а на свим нивоима, предузеће мора проћи кроз карактеристичне фазе раста, модели PLM зрелости пројектују претпостављени еволутивни пут у континуираном унапређењу способности предузећа за доследну примену PLM приступа.

Као референтни модел PLM зрелости најчешће се наводи модел који су установили *Batenburg* и др. [29], заснован на CMM оквиру модел комбинује концепт зрелости и пословне/ИТ усаглашености и пружа смернице за развој оптималне PLM стратегије следећи оквир стратешког усклађивања PLM технологија и пословања. Ослањајући се на овај модел до сада је развијено више модела PLM зрелости, специфичних домена [193, 218, 392, 404, 481], о којима је више речи било у потпоглављу 3.3. Већина наведених модела користи CMM структуру као оквир, која као свој базични елемент дефинише кључне области PLM компетенција. Ове области представљају димензије процене на основу којих се пројектује развојни статус организације, који одговара карактеристичним нивоима зрелости. Према узору на CMM оквир, већина модела пројектује пет карактеристичних нивоа зрелости, од неструктурираног до оптимизованог, са припадајућим дескрипторима који ближе описују компетенције које одговарају сваком појединачном нивоу. Процедура евалуације предвиђа примену структурираних упитника за прикупљање информација и процену развојног статуса организације. Анализа усаглашености тренутног у односу на референтни ниво идентификује недостатке и пројектује еволутивни пут до жељене зрелости као својеврсни план имплементације.

Иако је примена модела PLM зрелости широко заговарана у литератури, постоје бројне полемике које доводе у питање њихову применљивост. У фокусу ових полемика најчешће је питање да ли дефинисане фазе раста исправно одражавају PLM сазревање, да ли и у којој мери упитници за самопроцену одражавају еволутивни пут којим организација треба да напредује до потпуне имплементације PLM-а. Треба напоменути и да се праксе и принципи рада могу знатно разликовати у зависности од области, што захтева развој модела који мере зрелост у односу на нормативе специфичне за дати контекст. Такође, пројектовани нивои PLM зрелости не морају бити у складу са стварним потребама организације због чега постоји потреба за прилагођеним упитницима евалуације који ће бити изведени на основу PLM циљева предузећа. Највећа критика на рачун ових модела се односи на то да често нису у стању да на основу развојног статуса организације индукују мере унапређења, што значајно ограничава њихову применљивост.

Поред модела за мерење опште PLM зрелости, развијено је и неколико модела усмерених на специфичне аспекте PLM-а. Пример је модел који је развио *Dunne* [122], модел анализира зрелост процеса развоја производа, пројектујући, према узору на CMM, пет карактеристичних фаза раста. На основу процене развојног статуса ових процеса модел генерише план мера унапређења. Модел који предлаже *Stark* [392] се фокусира на процену зрелости управљања инжењерским подацима о производу, обухватајући само један, изоловани аспект PLM-а. Модел дефинише четири карактеристична нивоа зрелости за које пројектују очекивани статус напретка организационих компетенција, обухватајући неколико перспектива као што су организација, процеси развоја производа и PDM системи.

Како би дефинисали путоказ у имплементацији PLM-а у условима нове индустријске иницијативе Индустрије 4.0, *Sassanelli* и др. [362] предлажу модел за процену дигиталне и *Lean* зрелости чији је циљ дефинисање путоказа за PLM пројекте у компанијама које су оријентисане ка дигитализацији пословања.

Слично приступима заснованим на моделима PLM зрелости, *Marra* и др. [273] предлажу методологију за процену технолошког и методолошког нивоа карактеристичних PLM области. Методологија процене се заснива на принципима бенчмаркинга и укључује а) утврђивање развојног статуса решења доступних на тржишту у технолошком и методолошком смислу на основу чега се формира тзв. модел *најбољи у класи* који се усваја као референтна тачка процена; б) процену тренутног стања PLM технолошких области која предвиђа примену структурираних упитника за прикупљање информација и откривање постојећих недостатака и в) анализу јаза између постојећег стања и референтног модела. Иако предложени приступ пружа поуздану основу за планирање мера за прилагођавање и унапређење PLM технолошког решења, развијени модел је фокусиран искључиво на технолошки аспект имплементације, док је утицај на процесе или зрелост процеса занемарена.

Међутим, мање је истраживања која усмеравају доносиоце одлука у процесима имплементације да схвате приоритете напора које предузимају у различитим пословним околностима. Литература бележи свега неколико модела према којима се развој стратегије имплементације PLM-а базира на идентификовању и анализи специфичних пословних приоритета предузећа. На пример, *Myung* [296] је развио референтни модел од дванаест PLM функционалних блокова, приоритет укључивања функционалних блокова у PLM стратегију предузећа се базира на процени тренутног статуса имплементације кроз преглед алата и система који су тренутно у употреби, међутим предложени приступ не узима у обзир све релевантне аспекте за правилно разумевање пословних потреба и њихових приоритета како би се постигао модел оптималан за организацију. *Schuh* и др. [365] дефинишу осам базичних PLM процеса, чијим се развојем, како тврде, постиже потпуна и кохерентна имплементација PLM-а. Приоритети на основу којих се одређују процеси који ће бити развијани као део PLM стратегије се дефинишу разматрањем очекиваних користи у односу на циљеве организације. За потребе модела формирана је листа користи доказаних кроз емпиријске студије које потврђују корелације између ентитета PLM имплементације и одговарајућих индикатора успеха. Међутим, модел не предвиђа структуриран приступ одређивању тежинских фактора као релативних мера односа важности у рангирању процеса.

Дефинисање приоритета у имплементацији PLM-а *Vezzetti* и др. [428] базирају на анализи корисничких потреба. Модел мапира потребе повезане са микро процесима у ланцу вредности, додатно успоставља листу PLM функција које, према ауторима, чине укупни функционални опсег PLM система. Модел затим укључује анализу потенцијалног утицаја који PLM функције могу имати на перформансе процеса, овај утицај се доводи у корелацију са оперативним захтевима корисника, на основу чега се дефинишу приоритети у имплементацији. Сличан приступ предлажу *Fani* и др. [138], према коме се полази од потреба корисника повезаних са активностима мапираним кроз анализу процеса увођења нових производа, док се релативна важност PLM функционалности одређује на основу процене важности потреба и релевантности PLM функција за њихово задовољење.

Модел који предлажу *Arnold* и др. [15] дефинише PLM функционалне блокове као специфичне теме које се у имплементацији PLM-а секвенцијално обрађују. Одлука о функционалним блоковима који ће се обрађивати у наредним етапама еволутивног процеса имплементације се доноси на основу њихове претпостављене корисности за предузеће, при чему приоритет имају области са највећим потенцијалом за унапређење, узимајући у обзир и однос трошкова и корисности. Методологија процене се заснива на одређивању степена зрелости за сваки појединачни функционални блок на основу специјализованог модела евалуације, док се потенцијал унапређења одређује поређењем тренутног стања и профила који се бира као циљани за организацију.

Међутим, модели доступни у литератури не дају холистички приступ утврђивању приоритета у имплементацији, заснован на концептима који синтезује све релевантне факторе одлучивања, разматрајући шире пословне околности и ограничења који их њих проистичу.

7.2 Проблем евалуације пословних информационих система и постојећи приступи

Наставак пружа преглед литературе у подручју евалуације ИТ/ИС чији је циљ разумевање концепата који се односе на овај проблем како би се дефинисале теоријске поставке у анализи проблема који је предмет истраживања.

Song и *Letch* [386] дефинишу евалуацију као сложен процес који укључује идентификовање и мерење вредности објекта у датом контексту. Значај овог питања у контексту ИТ/ИС пројеката изазива интересовање многих истраживача, док су се сами приступи евалуацији временом мењали сагласно променама у контексту и утицају технологија на пословање, резултирајући великим бројем метода различитих перспектива и приступа, што указује на недостатак сагласности шта заправо чини успех ИТ/ИС-а.

Упркос значајним истраживањима, евалуацију ИТ/ИС-а и даље прате одређене концептуалне недоумице али и отежана операционализација, док су истраживања у овој области најчешће фрагментираног карактера, оријентисана на изоловане аспекте овог проблема, овоме треба додати и несагласности у погледу варијабли успеха и недостатак обједињених индикатора. Аутори упозоравају и на висок ризик од погрешних инвестиционих одлука које најчешће везују за недостатак одговарајућих методологија инвестиционе анализе применљивих у контексту ИТ/ИС-а.

Приступи у евалуацији ИТ/ИС-а се најчешће класификују на *ex-ante* и *ex-post*. Приступ *ex-ante* евалуације је карактеристичан за фазу планирања, то су заправо предиктивне оцене које се врше за потребе студија изводљивости, како би се оправдала улагања у ИТ/ИС, предвидео њихов утицај на пословне перформансе, донеле одлуке о алокацији инвестиција у ове технологије итд. Са друге стране *ex-post* евалуација прати перформансе ИТ/ИС-а након имплементације и процењује њихов стварни утицај. Овакве процене су заправо усмерене на успех имплементације у контексту „да ли је систем покренут у оквирима датих буџетских и временских ограничења и у контексту пословних резултата.“⁵⁸ Већина ових модела своју теоријску основу проналази у теорији стратешког усклађивања и дифузије иновација.

Говорећи о различитим контекстима евалуације ИТ/ИС-а *Song* и *Letch* [386] истичу неколико карактеристичних улога. Најпре концептуалну коју везују за разумевање вредности ИТ/ИС-а за организацију, укључујући проблеме у вези са ИТ/ИС пројектима, док њена инструментална улога упућује на одлуке које се предузимају на основу резултата евалуације. Према ауторима, евалуација ИТ/ИС-а може имати и политичку улогу која се везује утицај на заинтересоване стране итд.

Најзначајнијим доприносом у области евалуације ИТ/ИС-а сматра се *DeLone* и *McLean* [109] модел, који систематизује индикаторе успеха ИС-а, класификујући их у неколико категорија: квалитет информација, система и услуга, коришћење система и задовољство корисника. Међутим модел је усмерен на квалитет ИТ/ИС-а заступајући искључиво његов технолошки аспект, што је само један од аспеката успеха ИТ/ИС-а, док се други односи на акумулиране пословне вредности које генерише. Према *Pather* [314], поред почетног фокуса на техничке аспекте, концепт евалуације ИТ/ИС-а је еволуирао ка аспектима управљања ИТ/ИС пројектима и мерења пословних вредности ових технологија, што је у

⁵⁸ *Markus* и *Tanis* (2000)

највећој мери подстакнуто тзв. *парадоксом продуктивности*. Основна претпоставка оваквих приступа је да је сврха имплементације ИТ/ИС-а да генерише додатну вредност за пословање, док се идентификовање и процена пословних вредности сматрају кључним у процени исплативости инвестиција у ИТ/ИС. С тим у вези развијени су различити оквири за процену утицаја ИТ/ИС-а на пословне перформансе, који приступају проблему евалуације из организационих и стратешких перспектива. При чему се ове евалуације доминантно заснивају на квантитативним приступима користећи се традиционалним финансијским и економским методама (нето садашња вредност, повраћај улагања, интерна стопа рентабилности, анализа трошкова и користи итд.). Међутим, овакви приступи нису довољно свеобухватни да би узели у обзир еволуцију улоге ИТ/ИС-а у пословању, која се кретала од аутоматизације пословних процеса до улоге стратешког фактора пословања.

Преовлађујући приступ доношењу одлука о пословним иницијативама од стратешког значаја ослоњен на економске анализе, није у потпуности применљив у контексту PLM-а. Мерење доприноса које PLM генерише у односу на пословне циљеве попут профита и профитабилности и сл. методама као што су нето садашње вредности, интерна стопа рентабилности, метода ануитета итд. није увек изводљиво. Будући да ефекте оптимизације пословних процеса, успостављања доследних токова информација и сл. није лако идентификовати, а још теже их је изразити кроз финансијске параметре. Са друге стране, традиционалне мере економске продуктивности нису увек поуздани показатељи утицаја који PLM остварује, будући да се он пре свега огледа у нематеријалним користима. Поред тога, велике разлике у потенцијалним користима у зависности од околности специфичних за предузеће искључују могућност коришћења опште применљивих индикатора.

Проблеми који се најчешће везују за процену финансијских ефеката које генеришу информациони системи укључујући и пословне концепте са израженом ИТ компонентом се односе на одређивање аспеката организације на које утичу али и ефеката који им се могу приписати. Овоме треба додати и проблем квантификовања доприноса које генеришу, због њихове често имплицитне и нематеријалне природе. Факторе који утичу на сложеност процене финансијске користи генерисаних имплементацијом PLM-а *Alemanni* и др. [8] везују за прогресивни карактер имплементације, процес отежава и чињеница да су ове користи видљиве и могу се мерити тек након одређеног времена пошто се PLM систем уведе у оперативну употребу. Такође, према *Arnold* и др. [15] оне зависе и од прихватања и криве учења корисника.

Иако се идентификовање, моделирање и процена трошкова традиционално сматра кључним фактором одлучивања у усвајању пословних информационих система, док како *Usman* и др. [420] тврде, предвиђање напора, времена и трошкова потребних за имплементацију система у почетним фазама животног циклуса пројекта, значајно повећава вероватноћу његовог успешног завршетка, процена ових параметара се сматра највећим изазовом у управљању ИТ/ИС пројектима. Инхерентне несигурности, динамичност фактора који их моделирају и недостатак података чини високу прецизност ових процена у почетним фазама животног циклуса пројекта готово немогућом.

Моделирање обима и сложености имплементационих напора у случају PLM-а додатно отежавају фактори као што су недоступност детаљних и поузданих спецификација у почетним фазама имплементације, овоме треба додати и да се захтеви који служе као инпути модела процена мењају током животног циклуса пројекта. Треба нагласити и ограничења метода за моделирање односа између трошкова и варијабли које их детерминишу као што су сложеност напора имплементације, трајање и др., док конвенционалне методе не узимају у обзир контекстуалне факторе својствене пословним информационим системима.

У пракси се ове процене најчешће ослањају на modele преузете из области софтверског инжењерства, према којима се процене трошкова свode на предвиђање напора у развоју решења, мереног варијаблима његове техничке сложености и функционалне величине итд. Док се однос релевантних варијабли имплементационих напора и трошкова моделира одговарајућом математичком функцијом. Међутим овакви модели нису у стању да обезбеде математичке функције прикладне за моделирање трошкова развоја пословних информационих система попут PLM-а, узимајући у обзир контекстуалне факторе својствене овим пројектима.

Заправо приступ предвиђању напора у развоју решења заснован на стандардним метрикама функционалне величине није применљив у случају прилагођених примена тзв. COTS (*Commercial Off-The-Shelf software*) софтверских решења као што је PLM, будући да је већи део имплементационих напора у случају оваквих решења усмерен на њихова прилагођавања процесима организације и пословним околностима у оквиру којих делује. Такође, треба имати у виду да се ови системи обично усвајају у оквиру ширих иницијатива за унапређење пословања, због чега модели предикције трошкова морају узети у обзир организационе аспекте имплементационих напора и на експлицитан начин укључити трошкове индуковане променама у пословним процесима или организационој структури предузећа.

Све ово чини развој параметарских модела који гарантују високу прецизност економских показатеља готово немогућим и доводи до непрецизних и непоузданих процена условљавајући превише оптимистичне прогнозе, што се често повезује са високом стопом неуспеха ИТ/ИС пројеката у пракси.

Јасно је да нису све користи генерисане употребом ИТ/ИС-а подложне квантификацији кроз финансијске параметре. Према *Wu* и др. [443], мерљиве материјалне користи које иницијативе које се могу сматрати блиским PLM-у обезбеђују се манифестују у различитим аспектима ефикасности оперативних процеса предузећа, док се нематеријалне користи генеришу кроз унапређење организационих снага (попут прилагодљивости, иновативности, конкурентске снаге итд.) и интерних организационих компетенција (нпр. способност когниције информација предузећа у општу компетентност запослених итд.). Што имплицира да улагање у иницијативе попут PLM-а може имати знатно шире импликације од уштеде трошкова или оперативних побољшања насталих на основу улагања у информационе системе и ИТ инфраструктуру, кључна побољшања заправо произилазе из системских промена у пословним процесима, усвајање новог начина рада, преласка на нову парадигму управљања итд. Иако се не могу исказати одговарајућим финансијским индикаторима оваква побољшања имају потенцијал да увећају вредност инвестиција у ИТ/ИС, што захтева усвајање знатно шире перспективе у њиховој евалуацији.

С тим у вези, *Zouine* и *Fenies* [487] систематизују пет карактеристичних перспектива које описују однос између инвестиција у ИТ и пословних вредности које генеришу. Најзаступљенија међу овим перспективама произилази из економске теорије и користи се мерама економске продуктивности као кључним показатељем пословне вредности генерисане на основу улагања у ИТ, док приступ заснован на социјалној психологији као додатну перспективу евалуације уводи друштвени фактор. Перспектива стратешког усклађивања је дводимензионална концепција која укључује процену усаглашености технолошке и пословне стратегије и функционалну интеграцију односно интегрисаност функционалног и пословног домена. Перспектива процеса повезује предности ИТ-а са оптимизацијом интерних процеса, док приступ заснован на анализи конкурентских предности покушава да објасни како технологије утичу на пословање како би се уочиле конкурентске предности које се стичу инвестирањем у ИТ.

Такође у употреби су различити методолошки оквири за евалуацију специфичних решења блиских PLM-у заснованих на вишедимензионалном приступу. Тако рецимо, *Stefanou* [393] наглашавају да постојећи концепти евалуације треба да превазиђу домен оперативних побољшања, усмеравајући се на анализу стратешког утицаја итд. У свом моделу за евалуацију ERP система у предимплементационом периоду, *Stefanou* [393] обједињује бихевиорални, технолошки и организациони аспект у јединствену перспективу. Комбинујући финансијске и нематеријалне индикаторе модел истовремено процењује и оперативни учинак и стратешку утицај ових система. Кроз процес евалуације који предлажу укључују и квантитативне и квалитативне аспекте анализе. *Zouine* и *Fenies* [487] предлажу приступ евалуацији успеха ИС-а који проналази своје теоријске основе у математичкој теорији комуникације, теорији дифузије иновација и теорији адаптивне структуре. Модел уводи технолошке, еколошке и организационе факторе евалуације. Уједно дефинише главне варијабле успеха ових система ослањајући се на две главне концепције, прву која наглашава технолошки аспект заснован на систему квалитета и другу која указује на значај људског фактора, наглашавајући факторе прихватања технологија. *Chatti* и др. [75] заговарају укључивање две перспективе евалуације, прву у односу на ефекте процеса имплементације која анализира организациони учинак и другу у односу на детерминанте процеса која полази од теоријских принципа дифузије технолошких иновација. У свом истраживачком приступу аутори теже испитивању ефеката дифузије технолошких иновација, у овом случају нових информационих система, у смислу организационих перформанси. Аутори уводе нешто шири концепт анализе испитујући узрочно-последичне везе између детерминанти успеха дифузије укључујући структуралну, стратегијску и тржишну димензију, и успеха имплементације мереног кроз економску, организациону и социјалну димензију.

7.3 Вишекритеријумски приступ евалуацији PLM функционалних подручја

Предложени приступ *ex-ante* евалуације заснован на принципима вишекритеријумске анализе обухвата извођење предиктивних процена у циљу утврђивања релативног приоритета специфичних области развоја PLM компетенција сагласно потребама ППС-а, уважавајући шире пословне околности и ограничења који из њих проистичу. Ослањајући се на постојеће приступе у области евалуације пословних информационих система и факторе својствене пројектима имплементације PLM-а, приступ уводи следеће аспекте анализе:

- неопходна улагања;
- фактори исхода имплементације;
- фактори процеса имплементације;
- доприноси у контексту ширих иницијатива за развој иновационих потенцијала предузећа.

Неопходна улагања

Ослањајући се на конвенционалне приступе који проблем евалуације пословних информационих система свде на анализу неопходних улагања, као специфичан аспект евалуације предложени приступ уводи предикцију трошкова имплементације, при чему у односу на стандардне приступе моделирања и процене имплементационих напора, преузете из области софтверског инжењерства, приступ предложен у овом истраживању у обзир узима организационе аспекте имплементационих напора и усваја ширу перспективу процена, обухватајући све директне и индиректне трошкове набавке, употребе и одржавања PLM технолошког решења. С тим у вези предлаже се TCO (*Total Cost of Ownership*) модел трошкова имплементације PLM-а, детаљно представљен у потпоглављу 7.5.

Фактори исхода имплементације

Све већи притисак да се улагање у информационе системе или пословне концепте са израженом ИТ перспективом оправда у контексту њиховог доприноса ширим организационим циљевима, чини процену пословних перформанси ових иницијатива, која сагледава различите аспекте утицаја, мимо економских показатеља, виталном за оцену вредности инвестиција које подразумевају. Штавише, аутори *Tomovic* и др. [413] и *Arnold* и др. [15] истичу да процена потенцијалних пословних вредности PLM-а омогућава да се у доношењу одлука о његовој имплементацији избегне оријентисаност искључиво на технологије, те да се PLM третира као концепт који укључује и људе и процесе. У прилог овим тврдњама, *Jeon* и *Bang* [202] сматрају да системска анализа пословних ефеката увођења PLM-а може бити водич за формулисање стратегије имплементације и минимизирати ризик од погрешних одлука, при чему се полази од тумачења које даје *Arnold* и др. [15], према коме функционални аспекти PLM-а са потенцијално највећим пословним користима имају најзначајнији утицај на економску исплативост оваквих иницијатива.

Следећи наведено, предложени приступ евалуацији PLM функционалних аспеката уводи анализу пословних вредности у контексту доприноса стратегији организације и оперативних побољшања, одражавајући на тај начин захтев да се улагања у PLM иницијативу ускладе са стратешким приоритетима предузећа.

Приступ према коме се одлуке о увођењу информационих система или пословних концепата са израженом ИТ перспективом заснивају на процени пословних вредности које генеришу је и раније промовисан у литератури. Рецимо *Shen* и др. [371] користе концепт мерења перформанси пословних информационих система и њиховог доприноса стратешким циљевима организације у функцији оцене успеха имплементације. *Ragowsky* и др. [343] предлажу анализу вредности које генеришу ERP системи и услова под којим подржавају перформансе примарних активности ланца вредности организације у циљу алокације улагања у ове системе. Као специфичан аспект евалуације успешности имплементације ERP-а *Chatti* и др. [75] разматрају његов утицај на пословне перформансе кроз економску, организациону и друштвену димензију. *Schuh* и др. [365] дефинишу план имплементације PLM-а на бази разматрања очекиваних користи у односу на циљеве организације, идентификованих кроз анализу корелација између специфичних ентитета имплементације и одговарајућих индикатора успеха.

Иако постоји значајан корпус истраживања са фокусом на разумевање начина на који PLM доприноси генерисању пословних вредности за организацију, утицај PLM-а на перформансе организације се у литератури третира на недовољно обухватан начин, штавише, недостају аналитички оквири за евалуацију доприноса PLM-а.

Имајући у виду стратешку природу PLM-а, те да иницијативе попут ове доприносе ширим организационим циљевима, мимо финансијских приноса, неопходно је усвајање знатно шире перспективе у односу на конвенционалне приступе евалуацији ИТ/ИС-а оријентисане на оперативна побољшања и традиционалне мера економске продуктивности. Како *Shen* и др. [371] наглашавају, потребан је интегрисани концепт евалуације, који ће обухватити све релевантне аспекте организационих перформанси.

Водећи се наведеним, установљен је модел за анализу потенцијалног утицаја PLM-а на генерисање пословних вредности који покушава да синтезује оперативна побољшања и стратешке доприносе у скуп квалитативних и квантитативних метрика. Модел дефинише оквир за евалуацију који систематизује потенцијална подручја утицаја PLM-а, при чему је структура вредности које генерише заснована на BSC (енг. *Balanced Scorecard*) уравнотеженим димензијама. У контексту предложеног приступа, BSC подржава успостављање интегрисаног оквира за мерење усаглашености појединачних иницијатива у

оквиру имплементације PLM-а са пословном стратегијом, помажући у одабиру скупа метрика које одражавају стратешко усмерење организације. Предложени модел је детаљно представљен у потпоглављу 7.8.

Фактори процеса имплементације

Увођење аспеката анализе који се везују за процес имплементације има за циљ да се на ефикасан начин обухвате ефекти неизвесности и сложености инхерентних пројектима имплементације PLM-а, које произилазе из интеракције различитих елемената пројекта чија се својства не могу сасвим поуздано предвидети. Наиме, дуг период и сложеност имплементације генеришу одређене неизвесности, чинећи одлуке о PLM-у условљеним непознатим будућим стањима. Неизвесност у погледу будућих збивања и њихових исхода се перципира као ризик, који се, како *Titarenko* [412] наводи, може сматрати инхерентном карактеристиком сваке пројектне одлуке у ситуацијама неизвесности. Непредвидљива и сложена природа пројекта чини их подложним различитим факторима ризика, који поседују потенцијал генерисања последица на циљане вредности. Ризици се односе на „потенцијалне нестабилности које могу угрозити успех пројекта“⁵⁹ и указују на могућност настанка непознате ситуације или догађаја које стварају околности које могу проузроковати одступања од планираних циљева пројекта. Другим речима, ризици се перципирају као појаве које узрокују стања у којима пројекти нису способни да генеришу планиране исходе.

Што заправо значи да изложеност ризицима одређује способност пројекта да испуни своје циљеве у контексту трошкова, времена и квалитета. С тим у вези, управљање ризицима се сматра виталним аспектом управљања пројектима и значајно утиче на способност предикције и контроле одступања у односу на циљеве пројекта. Док системски приступи анализи пројектних ризика у циљу предикције догађаја или околности који могу угрозити циљеве пројекта и њихових последица, представља важан механизам за усмеравање одлука на пројекту. У прилог овој тврдњи говоре и многе студије које користе квантитативне мере изложености ризику, као фактор одлучивања у домену управљања портфолиом пројекта, иницирања и селекције пројекта, оптимизације перформанси пројекта, алокације пројектних ресурса итд. [225, 259, 368].

У контексту овог истраживања, ризик се тумачи као скуп догађаја или околности које карактерише неизвесност и способност генерисања последица на исход пројекта. Преузимајући принципе који произилази из концепта управљања ризицима, анализа ризика у одлучивању о имплементацији PLM-а омогућава да се на експлицитан начин обухвате ефекти који произилазе из неизвесне природе ових пројекта. Што је у складу са идејама и приступима установљеним у неким ранијим теоријским и емпиријским истраживањима, која концепт анализе ризика користе у функцији подршке одлучивању током животног циклуса софтверских производа [361], оптимизације управљања портфолиом пројекта дигиталне трансформације [284], оптимизације перформанси пројекта имплементације пословних информационих система [410], избора портфолија пројекта [95], управљања портфолиом ИТ пројекта [442].

Упркос опсежном корпусу истраживања са фокусом на разумевање, моделирање и управљање ризицима у области ИТ/ИС пројекта, истраживања усмерена на идентификовање и анализу ризика инхерентних пројектима имплементације PLM-а готово да нису вршена, са изузетком неколико студија [380, 382].

Како би се превазишао поменути истраживачки јаз, предложени методолошки приступ предвиђа модел за анализу ризика пројекта имплементације PLM-а који: 1) систематизује факторе ризика као догађаје или околности који у контексту специфичном за пројекте

⁵⁹ *Hartono* и др. (2019)

имплементације PLM-а могу проузроковати различите нестабилности утичући на појаву одступања од циљаних вредности пројекта; 2) дефинише механизам за утврђивање квантитативне мере изложености ризику појединачних пројеката у оквиру иницијатива за имплементацију PLM-а. Предложени модел анализе ризика пројеката имплементације PLM-а је детаљно представљен у потпоглављу 7.7.

Сагласно тумачењу коју даје *Dao* и др. [105], концепт управљања ризицима није у стању да обухвати све могуће ефекте који произилазе из неизвесне и сложене природе пројеката, сугеришући да су сложеност и ризици својства пројекта која се могу тумачити као две засебне конструкције. Док се управљање ризицима тиче непознатих догађаја и предикције њихових утицаја на циљеве пројекта, сложеност се везује за позната својства пројеката. Упркос појединим тумачењима, атрибути који узрокују сложеност пројекта нису ризици већ његова иманентна својства, која произилазе из дивергентности елемената пројектног система, њихових међусобних интеракција, стохастичке природе и неизвесних својстава, а која могу генерисати ризике у зависности од нивоа неизвесности коју укључују. Правилно управљање сложеностима на пројекту, у том контексту, може бити у функцији контроле и редукције ризика. Са друге стране, ризици се поистовећују са неизвесним будућим стањем у оквиру ког се могу јавити догађаји непознатог исхода са потенцијално негативним ефектима.

Ослањајући се на тумачење које дају *Xia* и *Chan* [448], сложеност се у контексту овог истраживања тумачи као инхерентно својство пројекта које произилази из интеракције различитих елемената пројекта са структуралним, динамичким и неизвесним својствима. У свом тумачењу сложености *Xia* и *Chan* [448] полазе од теорије система, према којој су сложени системи динамични, нестабилни и континуирано еволуирају на непредвиђен начин, што како *Vidal* и др. [430] тврде отежава њихово разумевање и управљивост, смањујући предвидљивост у њиховом понашању.

Полазећи од ових тумачења сложеност се може разумети као фактор који одређује степен тежине при извођењу пројеката имплементације. Штавише, *Nguyen* и др. [298] указују да постоји значајна корелација између лоших перформанси и сложености пројекта, заправо сложеност пројекта директно имплицира већи напор у реализацији пројекта, утичући на његов исход у контексту времена, трошкова и квалитета. С тим у вези, литература наглашава да је сложеност важан фактор одлучивања на пројекту, те да су системски приступи предикцији и мерењу сложености од кључне важности. Различита академска и практична истраживања приступају изучавању концепта сложености у функцији оцене нивоа зрелости пројекта [41], успостављања ефективног управљања и идентификовања критичних фактора успеха [10] итд.

Водећи се наведеним, предложени методолошки приступ разматра сложеност у контексту специфичног аспекта анализе, као фактор који одређује степен тежине при извођењу пројеката имплементације, имплицира већи напор и смањену ефикасност у реализацији пројекта. Што је у складу са приступима установљеним у неким ранијим истраживањима, наиме *Kermanshachi* и др. [224], разматрају сложеност у контексту критеријума за евалуацију пројеката, док *Vidal* и др. [429] анализирају ниво сложености пројекта као један од критеријума у селекцији и оптимизацији портфолија пројеката.

Иако постојећи оквири сложености пројеката у области развоја информационих система помажу да се овај феномен разуме и концептуално објасни они не узимају у обзир контекст специфичан за пројекте имплементације PLM-а, штавише у доступној академској литератури до сада није било речи о специфичним метрикама сложености ових пројеката. У намери да се сложеност пројеката укључи као фактор одлучивања у оквиру иницијатива за имплементацију PLM-а, разрађен је модел за анализу сложености пројеката

имплементације PLM-а. Истраживање на успостављању модела је укључило 1) развој оквира који дефинише атрибуте сложености ових пројеката и 2) механизме за утврђивање композитне мере сложености пројеката. Предложени модел анализе сложености пројеката имплементације PLM-а је представљен у потпоглављу 7.6.

Доприноси у контексту ширих иницијатива за развој иновационих потенцијала предузећа

Оснаживање иновационог потенцијала предузећа преузима улогу кључног механизма за постизање дугорочног раста и одрживог развоја предузећа, због чега све чешће постаје стратешки фокус иницијатива за унапређење пословања. С тим у вези, увођење различитих пословно и технолошки оријентисаних концепата попут PLM-а постаје део ширих стратегија за развој иновационих потенцијала предузећа. При чему је од пресудне важности усмеравање напора ка оснаживању кључних елемената иновационог система предузећа. Ово се пре свега односи на развој различитих компетенција и динамичких способности предузећа за развој производа, што је сагласно тумачењима датим у студији *Пузовић* и др. [332] потребно усагласити са природом иновационих процеса, контекстуалним условима и иновационом стратегијом предузећа.

Иако је препознат као кључна пословна функција и тема којој је у литератури посвећена значајна пажња, индустрија се и даље суочава са високом стопом неуспеха у развоју нових производа. Према појединим студијама чак 40% развијаних производа не доживи своју комерцијализацију [92], док мање од 25% производа лансираних на тржиште оствари очекивани комерцијални успех [137]. Потенцијални узроци неуспеха у развоју нових производа анализирани су у раду *Пузовић* и др. [336]. Висока осетљивост пословних резултата на неуспех у развоју нових производа, повезана са чињеницом да у актуелним тржишним околностима производи уведени у периоду од претходне три године генеришу трећину профита компанија, те да близу 70% трошкова животног циклуса производа настаје током његовог развоја [306], повећава значај развоја производа као пословне функције и приморава предузећа да непрестано трагају за начинима како да унапреде способност развоја нових производа.

Штавише, актуелне научне дебате препознају способност развоја нових производа као критичну димензију динамичких способности предузећа, која се у ширем контексту тумачи као „интегрисани скуп способности неопходних за испоруку специфичних вредности за кориснике на којима почива конкурентност предузећа.“⁶⁰ Према *Peng* и др. [316] способност развоја нових производа је инкорпорирана у праксама управљања, процесима и технолошким рутинама. *Song* и *Su* [387] је тумаче као „дводимензионални концепт који укључује способност ефикасне и ефективне експлоатације постојећих технологија и способност истраживања нових технологија и тржишта“, указујући на потенцијал њиховог синергијског дејства.

Са друге стране, PLM се перципира као стратешки приступ унапређењу перформанси процеса развоја нових производа, у прилог чему говоре многа истраживања, која потврђују да су могућности које пружа у позитивној корелацији са кључним варијаблама ефикасности и ефективности ових процеса. Према *Gmelin* и *Seuring* [154] његовом имплементацијом се постижу економски, социолошки и еколошки аспекти одрживости ових процеса. Док *Santamessa* и др. [62] указују да се утицај PLM-а на процесе развоја производа може посматрати кроз оперативну, организациону и стратешку димензију. Кроз своје истраживање *Tai* [401] потврђује да је главни посреднички механизам преко ког PLM утиче на унапређење перформанси развоја нових производа способност управљања. Специфични

⁶⁰ *Mahajan* и *Wind* (1988)

облици ове способности укључују способност контроле и побољшања процеса, мерене кроз могућност унапређења ефикасности и оптимизације процеса; способност координације ресурса партнера у развоју нових производа и способност апсорпције односно способност идентификовања и интеграције екстерно генерисаног знања у процесе развоја производа. Искрпнија анализа о утицају PLM-а на перформансе процеса развоја производа и подршци коју у том контексту обезбеђује дата је у потпоглављу 2.5.

Захтев за стратешко усмеравање PLM иницијатива ка развоју иновационих потенцијала предузећа имплицира потребу да се одлуке о имплементацији PLM-а разматрају у контексту његовог утицаја на оснаживање иновационог система ППС-а. У том контексту, предложени приступ евалуацији PLM функционалних подручја, као специфични аспект анализе разматра њихов утицај на организационе способности развоја нових производа. При чему се способност развоја нових производа у контексту овог истраживања тумачи као скуп специфичних компетентности предузећа, које делујући на међусобно синергичан начин стварају услове за развој и комерцијализацију нових производа на начин који осигурава висок ниво производно-економских и тржишних перформанси производа, подстичући ефикасност и ефективност процеса развоја нових производа. Основу овог приступа чини успостављање механизма за критичко преиспитивање тренутног стања процеса развоја нових производа у циљу мапирања латентних потреба ППС-а у контексту оптимизације процеса, разумевање њихових приоритета у специфичним пословним околностима.

Примена различитих механизма анализе процеса развоја нових производа у функцији успостављања стратегије имплементације PLM-а је приступ сличан већ промовисаним у неким ранијим истраживањима, што потврђује његову научну заснованост. Према приступу који предлаже *Dunne* [122], методологија имплементације PDM-а, као специфичног аспекта PLM система се заснива на анализи зрелости процеса развоја нових производа, за коју предвиђа модел који према узору на CMM пројектује пет карактеристичних фаза раста *ad-hoc*, *поновљив*, *карактеристичан*, *управљив* и *оптимизирајући*. На основу развојног статуса ових процеса могуће је спознати слабости и дефинисати побољшања која је потребно предузети у циљу повећања спремности организације за усвајање ових технологија. Сличан приступ предлажу и *Vezzetti* и др. [428] према коме се стратегија имплементације PLM-а заснива на формализацији и откривању слабости процеса увођења нових производа, што се сматра основом за формализовање потреба крајњих корисника. Уз то, аутори предвиђају методологију за мапирање идентификованих потреба са PLM технологијама и генерисање квантитативних показатеља њиховог утицаја на процесе увођења нових производа. Док *Sassanelli* и др. [362] предлажу модел за процену дигиталне и *Lean* зрелости са фокусом на процес развоја нових производа, у циљу дефинисања путоказа за пројекте имплементације PLM-а у условима нове индустријске иницијативе Индустрије 4.0. Модел комбинује четири аспекта процене ових процеса, дигиталну спремност и дигиталну зрелост применом DREAMI [106] и CLIMB модела [351] и зрелост процеса применом *MyWaste* и *MyTime* [352, 353] модела који су у непосредној вези са *Lean* теоријом. Предложена комбинација метода се заснива на претпоставци њихове комплементарности за постизање коначног циља анализе, односно развој путоказа за имплементацију PLM-а за компаније са тенденцијом дигитализације пословања, при чему је циљ успоставити континуирано унапређење процеса развоја нових производа и организације кроз мере оптимизације микро процеса, редеофинисање организационе структуре за подршку неопходним променама итд., како би примењени дигитални алати заиста поспешили ефикасност и ефективност ових процеса подржавајући интегрисано управљање знањем.

У контексту наведеног, предвиђа се развој новог нормативно-контингентног модела евалуације процеса развоја нових производа, према узору на тзв. *оквире најбоље праксе*.

Како би се постигла релевантност модела у односу контекст специфичан за предузеће уводи се принцип контингентности у дефинисању референтних норми процене. Предложени методолошки приступ заправо пружа контекст у коме предузећа могу разумети приоритете имплементационих напора у специфичним пословним околностима. Такође, предвиђа механизам за квантификовање утицаја специфичних функционалних аспеката PLM-a на оснаживање организационих способности за развој нових производа.

7.4 Интегрални вишекритеријумски модел оптимизације процеса имплементације PLM-a

Сагласно претходно уведеном концепту *ex-ante* евалуације развијен је интегрални вишекритеријумски модел оптимизације процеса имплементације PLM-a, који као своје парцијалне моделе интегрише аналитичке оквири од којих сваки предвиђа структурирану методологију евалуације:

- за потребе анализе неопходних улагања развијен је **ТСО модел анализе трошкова имплементације PLM-a**;
- за потребе анализе ефеката имплементације у контексту организационог учинка развијен је **BSC заснован модел анализе стратешких доприноса PLM-a**;
- за потребе анализе фактора процеса имплементације развијени су:
 - **модел анализе сложености пројеката имплементације PLM-a**;
 - **модел анализе ризика пројеката имплементације PLM-a**;
- за потребе анализе доприноса у контексту ширих иницијатива за развој иновационих потенцијала предузећа развијен је **модел анализе утицаја PLM-a на организационе способности развоја нових производа** у склопу ког се предвиђа успостављање нормативно-контингентног модела евалуације процеса развоја нових производа.

Агрегацијом преференција генерисаних применом парцијалних модела у укупну структуру преференција, узимајући у обзир релативне тежине аспеката анализе, изводи се композитни индекс корисности, и утврђује коначни поредак PLM функционалних аспеката. Добијени резултати се тумаче у контексту приоритета у имплементацији PLM-a, сагласно специфичним потребама ППС-a, са посебним нагласком на оснаживање његовог иновационог потенцијала. Истовремено пружају објективне смернице за успостављање оптималне стратегије имплементације PLM-a у реалним пословним околностима предузећа што укључује генерисање плана итеративног увођења PLM функционалних подручја у кохерентно, софтверски подржано PLM окружење у циљу успостављања оптималног модела процеса имплементације и доношење одлука у домену иницирања, селекције и управљања портфолиом пројеката имплементације PLM-a и алокације пројектних ресурса.

Методe коришћене у изградњи интегралног вишекритеријумског модела укључују:

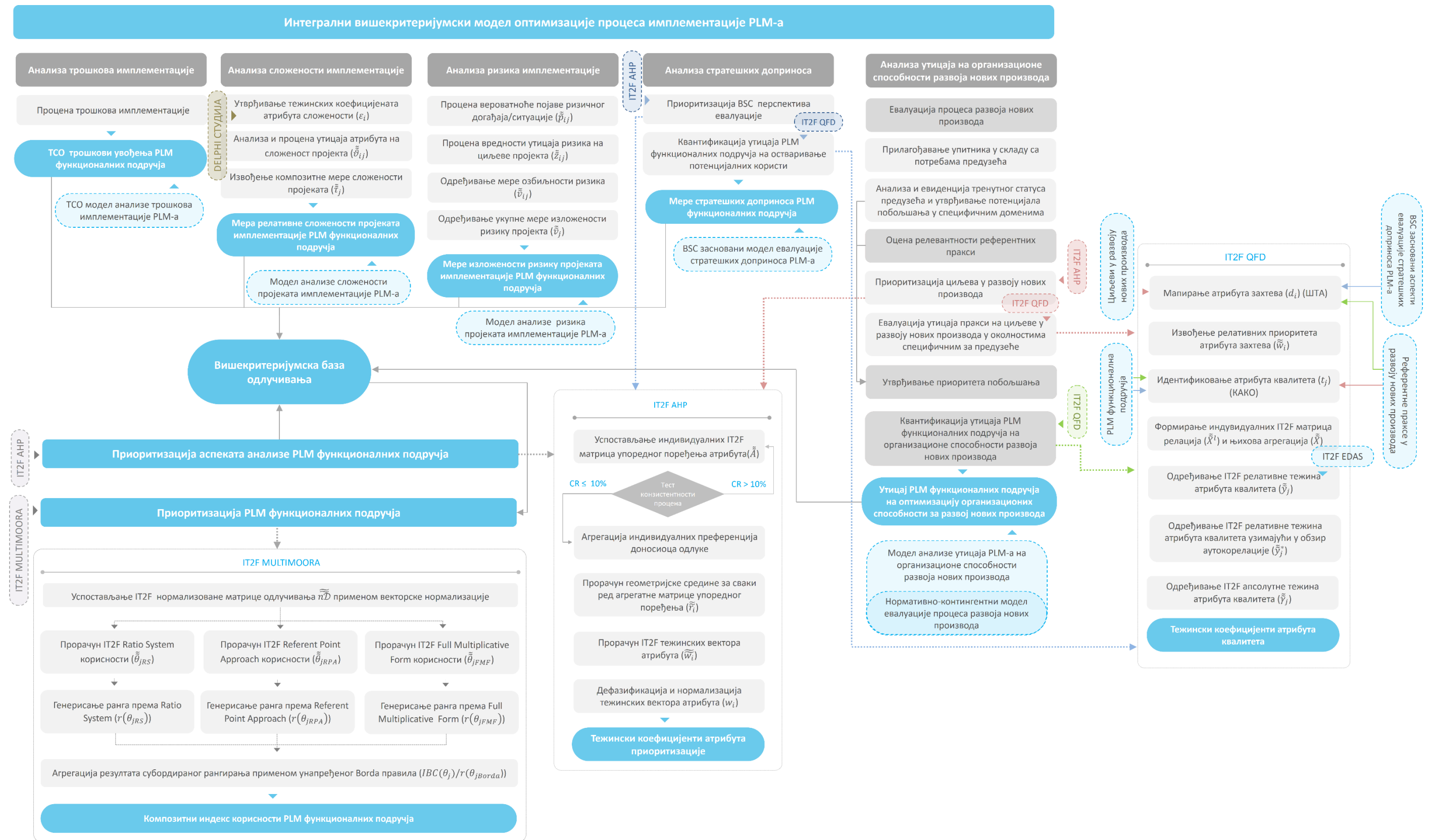
- **АНР методу** за утврђивање тежинских фактора и испитивање значајности разлика између атрибута објеката евалуације. Предлаже се примена модела који је установио Buckley [57], према коме се генерисање тежинских коефицијената из података о преференцијалним односима изводи применом методе геометријске средине, при чему се за разлику од оригиналног модела за моделирање података о преференцијалним односима користе IT2TrF скупови.
- **QFD методу** за откривање релација и моделовање утицај корелирајућих варијабли у моделу. У циљу превазилажења слабости конвенционалног QFD процеса, а имајући у виду карактеристичне приступе оптимизацији, предлаже се модификовани приступ, према коме се лингвистичке карактеризације којима се моделирају односи између корелирајућих варијабли третирају као нејасне и као такве се математички описују применом IT2TrF скупова, што омогућавају да се у ситуацијама са процењеним

вредностима, несигурног или приближног резоновања третирају до приближне тачности.

- **MULTIMOORA** методу за агрегацију преференција изведених применом парцијалних модела у циљу утврђивања композитног индекса корисности и коначног поретка PLM функционалних аспеката. Математички модел MULTIMOORA методе је развијен у IT2F окружењу, имајући у виду да су преференције које чине вишекритеријумску базу одлучивање моделиране применом IT2TrF скупова.

Како би се превазишле слабости теорије доминације, коришћене у конвенционалном MULTIMOORA процесу, које се односе на комплексност рангирања, занемаривање кардиналних вредности, проблем кружног резоновања и идентичних рангова итд., као алат за агрегацију резултата субординираних рангирања, уводи се унапређено *Borda* правило које интегрише и кардиналне и ординарне вредности за сваку од субординираних метода рангирања, пружајући консистентнији ранг алтернатива.

Алгоритам решавања проблема применом предложеног интегралног вишекритеријумског модела приказан је на слици 43. Док су његови парцијални модели представљени у оквиру потпоглавља која следе (7.5 - 7.9). Свако потпоглавље пружа теоријска тумачења концепата који ће бити коришћени у решавању разматраног проблема евалуације, ближе представља усвојени истраживачки приступ у развоју модела и даје појашњење дефинисане методологије. Теоријске основе метода и концепата коришћених у изградњи интегралног вишекритеријумског модела као и формулације њихових математичких модела дати су у поглављу 5.



Слика 43. Интегрални вишекритеријумски модел оптимизације процеса имплементације PLM-а

7.5 Предлог модела за анализу трошкова имплементације PLM-а

За потребе анализе трошкова у склопу интегралног вишекритеријумског модела чије се успостављање дисертацијом предвиђа, дефинисан је модел трошкова у процесу усвајања PLM-а вођен концептом укупних трошкова поседовања (енг. *Total Cost of Ownership – TCO*).

У наставку су дата теоријска разматрања и постојећи приступи у области предикције трошкова пројеката увођења пословних информационих система, а затим је представљена структура успостављеног TCO модела и приступ предикцији трошкова који се усваја.

Процена трошкова се заснива на „апроксимацији ресурса потребних за завршетак пројектних активности и стварање производа у складу са одређеним функционалним и нефункционалним карактеристикама.“⁶¹ У контексту пројеката увођења информационих система, ове процене се најчешће ослањају на приступе преузете из области софтверског инжењерства, засноване на предвиђању напора потребних за развој софтверских решења. Ови приступи се грубо могу поделити на неалгоритамске и алгоритамске. Прву категорију чине методе засноване на дедукцији и аналогiji, као што је метода стручног просуђивања заснована на знању и искуству стручњака уз примену техника као што су WBS (*Work Breakdown Structure*) и *Delphi*. Иако су због своје једноставности широко практиковане, овакве методе су склоне грешкама, прате их и проблеми пристрасних и недоследних процена. Методе засноване на аналогiji се, уместо на предикцију, ослањају на стварне трошкове завршених пројеката сличног контекста и обима, применом техника резоновања заснованог на случајевима. Иако су се показале као корисне, проблем у њиховој примени често је недостатак аналогних пројеката, истих или сличних иницијалних услова и ризика под којима се одвијају, избор критеријума поређења и ниво поверења. У употреби су два карактеристична приступа у извођењу оваквих процена, одоздо према горе - агрегација процена за појединачне компоненте и одозго надоле - декомпозиција укупних процена изведених на основу глобалних својстава производа на његове компоненте, што је приступ погодан за ране фазе које карактерише мањак релевантних информација.

Другу категорију чине алгоритамске методе базиране на примени скупа математичких модела који се појављују у облику параметарских и непараметарских регресионих модела, овакви модели генеришу процену трошкова као функцију варијабли које се сматрају основним факторима трошкова. Тачност процена у овом случају је одређена избором фактора (обим, време, напор, окружење итд.) и обликом функције трошкова (линеарна, мултипликована, експоненцијална итд.). Примери ових метода су *CONstructive COst Model (COCOMO)*, *Putnam*-ов модел, *Function Point Analysis (FPA)* итд. Овакве методе се углавном свде на предвиђање напора потребних за развој софтверског производа, при чему је однос напора и трошкова моделиран одговарајућом математичком функцијом. Међутим, истраживања на развоју великог броја математичких модела који изражавају однос трошкова и релевантних варијабли имплементационих напора (мере техничке сложености и величине решења итд.) нису довела до референтне функције трошкова увођења пословних информационих система. Постојећи модели су углавном фокусирани на моделирање трошкова развоја софтверских производа, при чему не узимају у обзир контекстуалне факторе својствене пројектима имплементације пословних информационих система, због чега нису у стању да обухвате све аспекте ових пројеката у облику фактора трошкова.

Како би се прилагодили контексту и новим трендовима у методологији развоја информационих система развијени су неки алтернативни приступи, као што су приступи засновани на примени неуронских вештачких мрежа (енг. *Artificial Neural Network*) које

⁶¹ PMI (2017)

поседују способност закључивања на основу велике количине постојећих података, међутим у литератури се може пронаћи свега неколико примена у области имплементације пословних информационих система. Пример је модел који су развили *Kotb* и др. [235] који користи технологије вештачке неуронске мреже са повратном пропагацијом за процену фактора трошкова у усвајању ERP система на основу синтетичких података.

Указујући да конвенционални приступи евалуацији пројеката на основу статичких критеријума инвестиционог одлучивања попут нето садашње вредности нису у стању да моделирају динамичну природу улагања у ИТ/ИС пројекте, многи аутори прибегавају процени трошкова насталих увођењем пословних информационих система у условима неизвесности применом теорије реалних опција, узимајући на тај начин у обзир инхерентне техничке и организационе неизвесности. Овакав приступ у својим истраживањима користе *You* и др. [460]. У употреби су и модели процене које користе теорију фази скупова, погодну за ситуације када није могуће извести математичке моделе на једноставан начин или када се процена базира на параметрима које карактерише неодређеност. Рецимо, *Shanker* и др. [369] предлажу модел за процену напора и трошкова у развоју софтверских система који се ослања на аналогију, теорију фази скупова и лингвистичке квантификаторе.

Међутим, још увек не постоји широко прихваћена техника у анализи трошкова увођења пословних информационих система, док је број истраживања о процени трошкова у пројектима имплементације PLM-а је готово занемарљив. Са друге стране, *Usman* и др. [420] тврде да доступна истраживања не доказују да примена формалних модела повећава тачност процене, док *Erasmus* и *Daneva* [135] наводе да се стратегије процене у пракси и даље најчешће ослањају на субјективно просуђивање стручњака или аналогију, *Usman* и др. [420] сугеришу да за избор приступа није пресудна тачност, усклађеност са контекстом у коме се примењује и циљевима процене специфичним за организацију је такође важна.

Већина модела процене трошкова дизајнираних за традиционалне ИТ пројекте као главну детерминанту трошкова претпостављају варијабле техничког обима и сложености решења које се успоставља, међутим овакав приступ није способан да обезбеди специфичан облик функције трошкова у случају пројеката имплементације пословних информационих система попут PLM-а. Димензионисање софтверског решења применом стандардних метрика попут линије кода или функционалних тачака као мера функционалне величине нису применљиви у случају прилагођених или конфигурабилних примена COTS софтверских решења као што је PLM. Овакви пројекти укључују имплементацију основне линије решења, док је већи део напора усмерен на прилагођавања тренутним процесима организације. Уз то, ови модели најчешће игноришу скривене покретаче трошкова као што су прилагођавање, интеграција, стицање оперативног знања о решењима која се уводе, миграција података итд. Такође, њихов фокус је углавном на фази имплементације због чега не предвиђају оперативне трошкове повезане са употребом и одржавањем система.

Моделирање обима, напора, сложености имплементације PLM-а отежава неколико додатних фактора као што су недоступност потпуних и поузданих спецификација у почетним фазама животног циклуса пројекта, захтеви који служе као инпути модела процене су подложни променама током времена, што развој параметарских модела који гарантују високу прецизност процене чини готово немогућим, уз то евалуатори најчешће нису у могућности да идентификују све потенцијалне ризике имплементације и узму у обзир њихове последице на трошкове. Такође, *Stensrud* [394] сугерише да су пројекти увођења информационих система део иницијатива за унапређење пословања, поред изградње одговарајућих функционалности система они укључују и промене у организационој структури и пословним процесима. Упркос томе, организациони аспекти имплементационих напора најчешће нису експлицитно обухваћени моделима за предикцију трошкова карактеристичним за ИТ пројекте.

7.5.1 TCO модел анализе трошкова имплементације PLM-a

Према дефиницији, TCO представља „садашњу вредност укупних трошкова насталих током предвиђеног века трајања одређеног производа или система“⁶², узимајући у обзир све директне и индиректне трошкове његове набавке, употребе и одржавања. Што значи да поред капиталних улагања (енг. *Capital expenditure - CAPEX*) везаних за планирање, набавку и имплементацију система и изградњу пратеће инфраструктуре укључује и претпостављене директне и индиректне оперативне издатке (енг. *Operating expenditure - OPEX*) повезане са употребом и одржавањем технологија.

Према Monczka и др. [292] TCO концепт прете одређене замерке попут оних да игнорише временску вредност будућих новчаних токова, што намеће питање дисконтовања трошкова на њихову садашњу вредност, такође не узима у обзир ризике и њихов утицај на пројекције трошкова. Међутим све ово не умањује релевантност TCO концепта за контекст анализе предвиђене моделом, са друге стране, конструкција коју даје TCO може бити корисна у настојању да се изразе сви релевантни фактори трошкова имплементације решења блиских PLM-у.

Анализирајући кључне носиоце трошкова у имплементацији PLM-a, Immonen и Saaksvuori [193] указују да најзначајнији део ових трошкова не потиче од софтверских лиценци и компоненти физичке инфраструктуре већ од оперативних напора у имплементацији, чијим се детерминантама не сматрају искључиво варијабле величине и сложености технолошког решења које се успоставља већ и дубина промена везана за неусаглашеност организационих процеса и функционалности решења које се имплементира. Штавише, студије засноване на емпиријским подацима [130] указују на доминантан удео трошкова прилагођавања и функционалних надоградњи у односу на стандардна решења у структури укупних улагања у PLM. Такође, за разлику од приступа који заузимају искључиво техничку перспективу, неопходно је размотрити и контекстуалне факторе који могу утицати на сложеност напора у имплементацији пословних информационих система. Тврдње о пресудној улози организационих промена у усвајању PLM-a али и захтеви за релевантним буџетским претпоставкама за њихово управљање имплицирају да се ниво организационих промена које увођење PLM-a покреће мора узети у обзир као важан параметар у предикцији трошкова имплементације. Стицање оперативног знања о новим технологијама и њиховом одржавању, баријере и брзина усвајања знања се у литератури такође сугеришу као фактори који моделирају трошкове имплементације пословних информационих система.

Развијени TCO модел класификује трошкове имплементације PLM-a на капитална улагања везана за планирање, набавку, имплементацију, обуку, али и оперативне трошкове повезане са подршком у употреби, одржавањем и надоградњом система. У односу на стандардне TCO моделе укључује и димензију пословних промена обухватајући на тај начин и организациони аспект имплементационих напора.

На основу разматрања доступних у литератури, идентификовани су фактори који утичу на трошкове идентификоване у TCO моделу. Ови покретачи могу бити изражени као квантитативни облик вредности, док се у случају квалитативних покретача вредности додељују применом хеуристичких метода.

- величина и сложеност конфигурације;
- сложеност интерфејса;
- број крајњих корисника;
- природа односа са провајдером;
- коришћени приступ имплементацији;

⁶² Monczka и др. (2010)

- приступ усаглашавању решења које се имплементира са пословним захтевима - применом приступа конфигурације кроз модификацију системских параметара и инхерентних могућности или прилагођавањем кроз проширења и модификације прилагођеним кодирањем;
- обим и квалитет информација за миграцију из старих система;
- број наслеђених система;
- постојећи ниво обучености и искуства корисника и баријере у усвајању знања;
- опсег обухваћених процеса, организациона зрелост за усвајање PLM технологија;
- ниво интеграције система итд.

Табела 11. TCO модел трошкова имплементације PLM-а

Фактори трошкова	Повезани трошкови
Припрема за имплементацију	Анализа постојећег стања, консалтинг услуге за конфигурисање решења, развој модела података и процеса, студије изводљивости итд.
Набавка софтверског решења	Конфигурисане корисничке лиценце, лиценце за сервере, базе података и додатне софтвере, посебне администраторске лиценце.
Изградња ИТ инфраструктуре (локалне или хостоване на <i>cloud</i> -у)	Хостовање и/или набавка хардвера, сервери и остали ресурси за изградњу одговарајуће ИТ инфраструктуре, <i>cloud</i> услуге итд.
Имплементација решења	Пилотирање решења, инсталација и прилагођавање, интеграција апликација, имплементација интерфејса, тестирање и валидација, миграција података итд.
	Прикупљање, пречишћавање и провера квалитета информација из старих система, припрема датотека за учитавање у систем
Спровођење пословних промена	Промене у пословним процесима, организационој структури и улогама
Обука корисника	Хост системи за потребе обуке корисника, образовни ресурси, спровођење програма обуке итд.
Текуће одржавање и планиране надоградње	Годишње накнаде за одржавање, обнављање лиценци и администрације софтвера, планиране надоградње решења, надоградња хардвера, техничка подршка

Трошкови који се односе на фазу имплементације решења се одређују на основу оперативних напора за чију процену се усваја модел који су предложили *Erasmus* и *Daneva* [135] приказан на слици 44. Модел пружа смернице за одабир стратегије процене имплементационих напора на основу захтева познатих у раним фазама животног циклуса пројекта, иако иницијално развијен за услове имплементације ERP система, због концептуалне сличности, модел је у потпуности применљив у контексту PLM-а. Уместо фокусирања на специфичан вид процене, модел потенцира развој стратегије која инкорпорира различите технике у зависности од ситуације, доступних ресурса, базе знања, карактеристика имплементације и информација о раније реализованим пројектима.

Према моделу, стратегија процене се заснива на комплементарној примени три различита приступа, који се бирају у зависности од компоненте и типа пројекта, док су процене засноване на експлицитном укључивању и квантитативних и квалитативних информација изведених из захтева доступних у раним фазама имплементације при чему се у ситуацији када експлицитна документација није довољна ослања на употребу правила изведених из претходних пројеката и стручних процена.

Приступ који модел процена комбинује у зависности од компоненте пројекта и доступних ресурса укључују приступ основне линије за захтеве и активности везане за имплементацију базичних карактеристика система за које се процене заснивају на параметрима функционалне величине система (енг. *Functional Size Measurement*). Затим приступ

конфигурације за активности које се односе на прилагођавања типична за одређену индустрију или сектор, која најчешће подразумевају избор опционих компоненти, што отвара могућност примене поновљивих сценарија прилагођавања уз извесна подешавања. У случају оваквих, унапред конфигурисаних сценарија као извор процене могуће је користити претходно изведена правила на основу процена стручњака. И као трећи, приступ прилагођавања, који укључује захтеве и активности имплементације које се односе на прилагођавања специфичним потребама организације, у случају којих су расуђивање стручњака једини изводљив вид процена.

Стратегија процене	Имплементација	Компоненте конфигурације	Компоненте процене	База знања	Приступ процени	Референце за процену
Основна линија	Основна линија	Језгро	Активности и подактивности	Експлицитно	Functional Size Measurement	WBS
Конфигурисано	Прилагођавање	Опционо	Унапред конф. сценарији		Стручне процене	Правила из аналогних пројеката
Прилагођено		Специфично	Експертске процене			Искуство и експертиза

Слика 44. Матрица стратегије процене трошкова у имплементацији пословних информационих система [135]

7.6 Предлог модела за анализу сложености имплементације PLM-а

Предложени модел пружа методологију за предикцију и квантификовање сложености пројекта имплементације PLM-а. Модел мапира атрибуте сложености као инхерентна својства пројекта имплементације PLM-а и изводи мере њихове релативне важности за анализу сложености ових пројекта, користећи се *Delphi* студијом као методолошком основом. Такође, предвиђа приступ операционализацији мерења и извођењу квантитативних показатеља сложености пројекта, при чему користи IT2F скупове за редуковање непрецизности и двосмислености улазних процена.

У наставку је представљен концепт и карактеристични приступи проучавању сложености пројекта, потом је представљен истраживачки процес на успостављању модела и приказан предложени оквир сложености пројекта имплементације PLM-а и предвиђени приступ анализи и квантификовању ових сложености.

7.6.1 Концепт и карактеристични приступи проучавању сложености

Још увек недостаје општеприхваћена концептуализација појма сложености пројекта, што за последицу има прилично неусаглашена тумачења и хетерогене системе метрика сложености. Према *Xia* и *Lee* [449] концепт сложености се може извести из теорије сложености која се бави понашањем сложених система, према којој су системи динамични, нестабилни и непрестано еволуирају на непредвиђен и насумичан начин. Док *Marle* и *Vidal* [271] објашњавају сложеност као „атрибут система који отежава његово разумевање, коришћење и управљање ограничавајући потенцијал његовог развоја.“

Xia и *Chan* [448] перципирају сложеност као инхерентно својство пројекта које настаје као последица интеракције различитих елемената са структуралним, динамичким и неизвесним својствима. За *Marle* и *Vidal* [271] то је „својство које отежава перцепцију, предвиђање и контролу понашања пројекта, чак и када су информације о његовим компонентама и њиховим међусобним односима познате и потпуне“. *Baccarini* [23] разликује дескриптивну од перцептивне сложености, дескриптивну или објективну сложеност *Marle* и *Vidal* [271] дефинишу као суштинску особину система, коју је могуће квантификовати. С друге стране,

перцептивна сложеност је субјективна и везује се за перцепцију коју појединац ствара у интеракцији са системом, иако се често одбацује као недовољно поуздана, *Rodríguez Montequín* и др. [350] истичу да је субјективност у процени сложености инхерентна карактеристика овог процеса.

Према *Baccarini* [23], сложеност настаје као последица великог броја различитих, међусобно повезаних елемената и може се описати коришћењем појмова диференцијације или броја укључених елемената и њихових међузависности којима се управља интеграцијом. Полазећи од овог тумачења, *Marle* и *Vidal* [271] поимају сложеност као структуралну несигурност, коју већина аутора разматра из перспективе организационе и технолошке сложености, поред тога, уводе неизвесност као додатну димензију која наглашава структуралну сложеност пројекта. Међутим, идеја о неизвесности као фактору сложености никада није у потпуности прихваћена. Штавише, сложеност се често сматра елементом неизвесности, није ретко да се сложеност и непредвиђена неизвесност третирају као засебне конструкције. *Dao* и др. [105] сматрају да је неизвесност пре повезана са ризицима него са сложеностју, док *Xia* и *Lee* [449] уместо неизвесности предлажу увођење динамичке сложености која произилази из стохастичке природе пројекта. На основу системског прегледа актуелне литературе *Morcov* и др. [293] потврђују тезу о структуралној и динамичкој сложености као доминантним димензијама сложености пројекта. Док се структурална сложеност огледа у броју елемената, степену њихове диференцијације, међузависности и интеракција, „динамичка сложеност је функција промена односа између елемената система и између пројекта и његовог окружења и укључује аспекте двосмислености и варијабилности.“⁶³

Иако ови фактори доприносе разумевању сложености пројекта они не покривају све могуће аспекте овог феномена. Истраживања у актуелној литератури приступају сложености разматрајући је из перспективе теорије сложености и системског размишљања, са посебним нагласком на тумачење сложености у контексту управљања пројектима.

За разлику од раних приступа проучавању кроз концепте међузависности и интеракције различитих елемената, студије у овој области су последњих деценија знатно евалуирале, посматрајући сложеност као вишедимензионални феномен условљен великим бројем фактора. Тако рецимо, *Maylor* и *Turner* [277] интегришу неизвесност и динамичност у фактор емергентне сложености, која се може разумети као непредвидиве последице које су резултат интеракције између различитих делова система и могу утицати на исход пројекта. Различита академска и практична истраживања указују на факторе као што су контекст пројекта повезан са природом његовог окружења, варијабилност друштвених и културних идентитета међу актерима пројекта, додајући овој листи и аутономност, повезаност, социополитичке факторе. Занимљиво је да *Brady* и *Davies* [46] помињу социополитичку сложеност као фактор који наглашава структуралну и динамичку сложеност, не и као посебну димензију сложености, док *de Rezende* и *Blackwell* [107] уводе институционалну сложеност као нову димензију.

Неколико аутора је развило оквире сложености узимајући у обзир контекст специфичан за пројекте имплементације информационих система. Тако рецимо, *Ribbers* и *Schoo* [349] дефинишу сложеност ових пројеката кроз призму разноликости, разматрајући сва стања која систем може да има; варијабилности која одражава динамику односа елемената система и интеграције која се тумачи као промене у технологији или пословним процесима које су последица имплементације система. *Joseph* и *Marnewick* [208] конструишу свеобухватан поглед на сложеност ИС пројеката асимилацијом доступних модела, идентификујући укупно седамдесет пет индикатора сложености у пет кључних димензија.

⁶³ *Morcov* и др. (2020)

На основу процене значаја и релевантности идентификованих индикатора, користећи моделирање парцијалном структурном једначином најмањих квадрата (енг. *Partial Least Squares Structural Equation - PLS-SEM*), формативни модел индикатора сложености је ревидиран и сведен на укупно тридесет девет индикатора. Многи аутори сугеришу да сложеност пројеката имплементације информационих система не потиче искључиво од технолошких аспеката већ и од организационих фактора [103, 449], с тим у вези *Damasiotis* и *Fitsilis* [103] сложеност ових пројеката разматрају из перспективе управљања пројектима и техничких аспеката процеса развоја система. Слично, *Poveda-Bautista* и др. [326] дефинишу систем фактора сложености ИС пројеката комбинујући факторе сложености дефинисане IPMA (*International Project Management Association*) стандардом за управљање пројектима и факторе који произилазе из карактеристика својствених овим пројектима, обухватајући укупно тридесет четири индикатора сложености. Док *Damasiotis* и *Fitsilis* [103] индикаторе сложености ИС пројеката изводи на основу PMBOK (*Project Management Book of Knowledge*) области знања, укључујући и техничке факторе развоја софтвера.

Тежња да се сложеност пројекта квантитативно изрази и њоме на одговарајући начин управља, иницирала је развој различитих модела за процену сложености са фокусом на специфичне области. Један од карактеристичних приступа је CIFTER (*Crawford–Ishikura Factor Table for Evaluating Roles*) модел седам фактора за мерење сложености управљања пројектима, који је алијанса GAPPS [146] развила као алат за категоризацију пројеката. *Shafiei-Monfared* и *Jenab* [368] су покушали да квантификују сложеност пројеката користећи CDCM матрицу (*Complexity Design Structure Matrix*), док *Lu* и др. [259] мере сложеност из перспективе сложености задатка и организације на пројекту. *Kermanshachia* и др. [224] су конструисали алат за процену и управљање сложености грађевинских пројекта (енг. *Project Complexity Assessment and Management – PCAM*) заснован на матрици за мерење сложености. Предложени модел је укључио мапирање индикатора сложености који су статистички значајни за разликовање пројеката ниског и високог нивоа сложености, кроз *Delphi* процес, примену PCAM алата за мерење сложености и дефинисање стратегија за управљање кључним индикаторима сложености. *Poveda-Bautista* и др. [326] дефинишу систем квантитативног мерења сложености ИС пројеката у складу са IPMA оквиром, укључујући нове факторе специфичне за ову врсту пројеката. Модел је дизајниран да мери сложеност у односу на сличне пројекте, бодујући сваки фактор сложености.

Поједи аутори уводе концепт вишекритеријумске анализе, као методолошку основу за предикцију и квантификовање сложености пројеката. Рецимо, *Vidal* и др. [430] успостављају индекс сложености као релативну меру сложености пројеката, у свом истраживању успостављају оквир сложености кроз интернационалну *Delphi* студију и предлажу вишекритеријумски приступ евалуацији нивоа сложености заснован на АНР методи. Модел који су развили *Nguyen* и др. [298] предвиђа примену факторске анализе за дефинисање компоненти сложености, фази АНР за приоритизацију ових компоненти и увођење CL (*Complexity Level*) квантитативне мере сложености пројекта. Док наведени модели претпостављају међусобну независност индикатора сложености, *He* и др. [177] полазе од хипотезе да се у пројектном окружењу између ових индикатора јављају различити облици интеракција, стога користе фази ANP (*Analytic Network Process*) приступ како би моделирали потенцијалне међузависности. Полазећи од сличних премиса, *Kim* и др. [230] користе ANP концепт у комбинацији са DEMATEL методом у циљу приоритизације фактора сложености у интернационалним развојним пројектима.

Табела 12 даје преглед доступних модела сложености који укључују различите систематизације димензија сложености и карактеристичне приступе истраживању овог концепта.

Табела 12. Преглед доступних приступа проучавању сложености

Димензије сложености	Приступ	Студије
Разноликост, варијабилност и интеграција	Концептуални модел за дефинисање и мерење сложености имплементације ERP-а и развој индикација за ефикасније управљање програмом имплементације	[349]
Структурална организациона сложеност; структурална ИТ сложеност; динамичка организациона и динамичка ИТ сложеност	Концептуализација и валидација индикатора за мерење сложености у раним фазама пројеката развоја информационих система	[449]
Сложеност задатака; друштвена сложеност; културна сложеност; оперативна сложеност и когнитивна сложеност	Идентификовање слојева сложености LSE пројеката и стратегија њиховог редуковања	[153]
Технолошка сложеност; организациона сложеност; сложеност окружења	ТОЕ оквир за категоризацију сложености великих инжењерских пројеката и прилагођавање сложености <i>front-end</i> развојне фазе пројеката	[43]
Структурална сложеност; социополитичка сложеност и емергентна сложеност	CAT алат за рано идентификовање извора сложености пројеката и подршку у артикулисању, процени и суочавању са општим сложеностима пројекта и изазовима који зависе од контекста	[276]
Величина пројекта; зависности на пројекту; контекст пројекта; дивергентности на пројекту	Стандардизовани оквир сложености идентификован применом Delphi студије; изградња индекса сложености применом ANP методе	[430]
Фактори сложености задатка (обим задатка, зависности између задатака); фактори организационе сложености (број и сложеност чланова организације, сложеност организационе структуре)	Модел мерења сложености из перспективе задатака и организације, који одражава динамичку природу сложености са скривеним оптерећењем	[259]
Величина; дивергентност; међузависности и контекст	Моделирање и анализа фактора сложености применом SEM технике у циљу идентификовања фактора са највећим утицајем на неуспех пројекта	[338]
Контекст; припадање; аутономија; повезаност; емергентност; диверзитет; величина	Интегративни системски оквир за анализу сложености пројекта изграђен сумирањем постојећих теоријских перспектива: теорија сложености, систем система	[25]
Димензије сложености пројекта: детаљност, динамичка сложеност; Емергентна својства пројекта: апсорптивни, адаптивни, ресторативни капацитети	CEPC интегрисани оквир за процену перформанси пројекта заснован на науци о сложеним системима и теорији контингенције	[485]
Циљеви, захтеви, очекивања; заинтересоване стране, интеграција; културни и друштвени контекст; степен иновативности, општи услови; структура пројекта, захтев за координацијом; организација пројекта; вођство, тимски рад, одлуке; финансирање ресурса; ризик и могућности; РМ методе, алати и технике;	Свеобухватни систем квантитативног мерења сложености ИТ пројеката заснован на синтези фактора дефинисаних IPMA стандардом за управљање пројектима и фактора својствених ИТ пројектима; обезбеђује индекс сложености који мери утицај фактора сложености у оквиру специфичног сценарија сложености	[326]
Међузависности организационих ресурса; неизвесност; управљање променама; величина; технолошка новина; управљање заинтересованим странама; локација; организациона архитектура; оријентација ка циљу; управљање ресурсима	Развој теоријског модела сложености пројеката развоја информационих система у циљу стварања теоријских основа за управљање сложеностима	[207]
Организациона сложеност; техничка сложеност; сложеност животне средине; неизвесност; динамичност	Вишедимензионални модел за мерење сложености ИС пројеката развијен коришћењем PLS-SEM; дефинисање стратегија за подршку ефикасном управљању сложеностима ИС пројеката	[208]
Оперативна и технолошка; сложеност опсега; организациона; комуникације; ресурси; животна средина; економска; правна и друштвено-политичка	Категоризација елемената сложености пројеката и њима припадајућих индикатора.	[304]
Време; цена; квалитет; комуникације; људски ресурси; набавка; обим; интеграција; заинтересоване стране	Модел сложености софтверских пројеката заснован на PMBOK областима знања о управљању пројектима и техничких фактора развоја софтвера	[103]

И поред значајних истраживања у овој области, и даље недостаје модел који би пружио свеобухватан и довољно адаптиван приступ мерењу сложености пројеката у различитим контекстима. *Kermanshachia* и др. [224] сугеришу да недостаје скуп систематских стратегија процене сложености, док *Vidal* и др. [430] сматрају да постојећи алати нису интуитивни за крајње кориснике, доводе у питање и њихову поузданост и применљивост, наглашавајући да често мере само изоловане аспекте сложености. Овоме треба додати да ови модели углавном пружају концептуални оквир за разумевање сложености, али не подржавају квантитативну процену нивоа сложености, такође, велики део њих се односи на сложеност специфичних модела пројектног система не и на сложеност пројекта. У циљу поједностављења већина доступних модела приступа квантификацији сводићи процене на ограничен број индикатора, без суштинског нарушавања валидности модела. Штавише, *Poveda-Bautista* и др. [326] сматрају да није неопходно мерити сложеност кроз све могуће индикаторе јер то овај процес чини превише сложеним за операционализацију мерења. Због чега фокус мора бити на утврђивању метрика специфичних за дати контекст и процени њиховог значаја и релевантности за мерење сложености.

7.6.2 Модел анализе сложености пројеката имплементације PLM-a

Истраживачки процес на успостављању модела је укључио 1) развој оквира сложености (слика 45) који мапира атрибуте сложености инхерентне пројектима имплементације PLM-a и 2) дефинисање приступа операционализацији мерења и извођења релативне мере сложености пројекта. Предложени модел користи теорију IT2F скупова за математичко описивање улазних процена у циљу редуковања њихових недоследности и двосмислености.

Развој оквира сложености пројеката имплементације PLM-a кроз *Delphi* студију

Оквир сложености је дизајниран узимајући у обзир факторе сложености установљене у оквиру релевантне литературе у области ИТ/ИС пројеката, укључујући факторе инхерентне пројектима имплементације PLM-a, предложене од стране представника академске заједнице и стручњака са практичним искуством у овим пројектима. У циљу утврђивања атрибута сложености специфичних за дати контекст и сужавања иницијалне листе атрибута на најрелевантније извршена је валидација и рангирање атрибута сагласно њиховом утицају на сложеност пројеката имплементације PLM-a. При чему је примењена методологија која се заснива на *Delphi* приступу, користећи знање и искуство представника академске заједнице и стручњака из праксе. Као резултат генерисана је листа од 24 атрибута. Процес је такође, укључио генерисање тежинских коефицијената атрибута као мере њихове релативне важности за анализу сложености пројекта имплементације PLM-a.

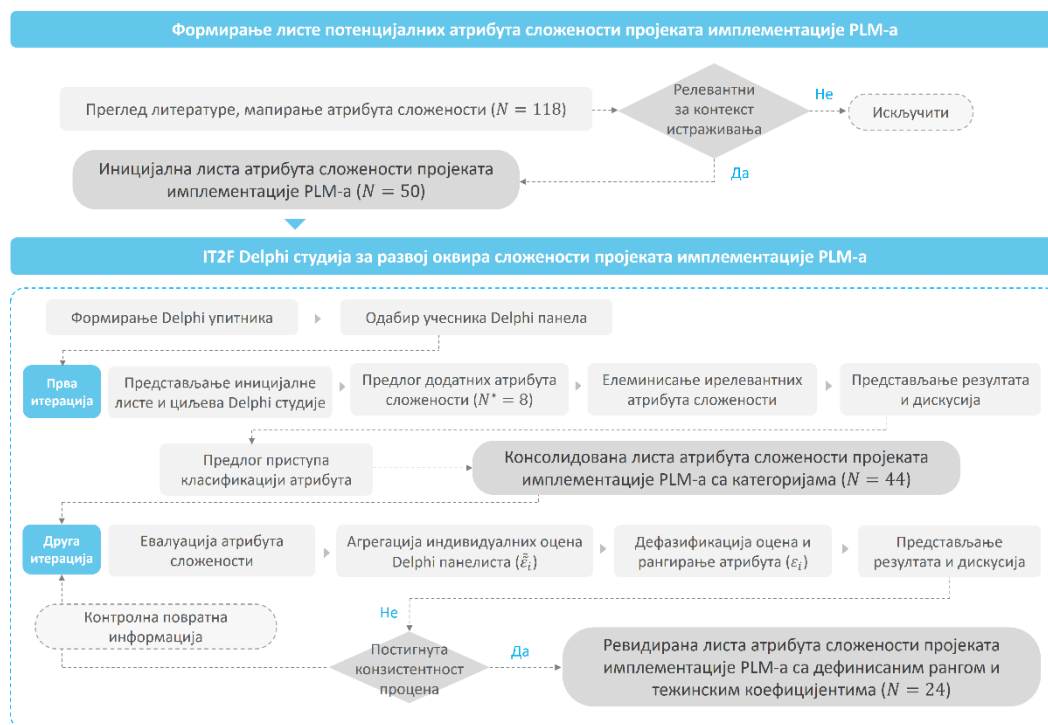
„*Delphi* метода је конципирана као формални комуникациони процес за аквизицију знања учесника групне дискусије“⁶⁴ служећи се серијом упитника за прикупљање података, статистичком анализом за тумачење ставова у комбинацији са повратним контролним информацијама за ревидирање ставова и консолидовање групних гледишта. Користи се за структурирање процеса групне комуникације омогућавајући групи појединаца као целини да се бави сложеним проблемима. Метода налази широку примену у процесима истраживања нарочито у домену „спецификације истраживачких питања, прелиминарне идентификације каузалних веза, идентификовања теоријских перспектива истраживања, избора варијабли од интереса итд.“⁶⁵ *Delphi* се сматра једном од најпоузданијих метода за консолидовање мишљења у оквиру групних дискусија и редуковање пристрасности или притиска утицајних појединаца, захваљујући својству анонимности, примени статистичких

⁶⁴ *Habibi* и др. (2015)

⁶⁵ *Habibi* и др. (2015)

метода за тумачење групних гледишта и могућности ревидирања ставова у циљу конвергенције мишљења учесника панела.

Delphi студије се заснивају на добро структурираном процесу, док се до закључака долази ослањајући се на панел независних стручњака са неопходним разумевањем проблема истраживања. Конвергенција мишљења учесника панела се постиже кроз итеративни процес, при чему се кроз итерације врши редистрибуција *Delphi* упитника уз контролисане повратне информације са статистички анализираним резултатима претходних итерација, уз задржавање анонимности одговора. При чему се од панелиста захтева да ревидирају своје оцене у светлу консолидованих резултата претходне итерације, све до постизања неопходног консензуса.



Слика 45. Развој оквира за анализу сложености пројеката имплементације PLM-а

За потребе успостављања оквира сложености пројеката имплементације PLM-а, спроведена је *Delphi* студија (слика 45), конципирана по узору на процедуру коју су у свом истраживању успоставили Xia и Chan [448], која је укључила валидацију предложених атрибута сложености, сужавање иницијалне листе на најважније атрибуте, њихово рангирање и одређивање тежинских коефицијената. Како би се превазишао проблем неодређености и недоследног људског резонувања, спроведени *Delphi* процес је заснован на математичком моделу развијеном у IT2F окружењу.

Процес укључује формирање *Delphi* панела, развој *Delphi* упитника, прикупљање и анализу одговора кроз итеративни процес. Окупљен је *Delphi* тим задужен за формирање *Delphi* панела и реализацију *Delphi* процеса. Формиран је панел од дванаест учесника који је укључио представнике академске заједнице (шест учесника) и праксе (шест учесника), укључујући универзитетске професоре у релевантним научним областима и представнике пословних система и организација за пружање консалтинг и других услуга у области имплементације PLM-а. Критеријуми за одабир *Delphi* панелиста биле су публикације у вези са PLM концептом и управљањем пројектима, за представнике академске заједнице и ниво образовања и претходно искуство у пројектима имплементације PLM-а, за представнике из праксе.

Претрага релевантне академске литературе је извршена уз помоћ академских база података (*Scopus*, *Google Scholar*, *ScienceDirect* и *KoBSON*), како би се идентификовале публикације које се тичу сложености у области управљања пројектима, са нарочитим фокусом на ИТ/ИС пројекте. Прегледом је обухваћено укупно 35 академских публикација, објављених у периоду од 2005 до 2024. године. Идентификовани атрибути сложености су термилошки унифицирани, као резултат формирања је листа од укупно 118 атрибута, међу којима је мапирано укупно 50 атрибута специфичних за контекст истраживања – анализа сложености пројеката имплементације PLM-а. Иницијална листа атрибута је ревидирана и рационализована кроз *Delphi* студију која је обезбедила конвергенцију различитих перспектива практичара и представника академске заједнице о релевантности идентификованих атрибута за описивање сложености пројеката имплементације PLM-а.

Delphi процес је спроведен у две итерације, у оквиру прве учесницима панела је представљена иницијална листа атрибута идентификованих у претходном кораку уз дискусију о циљевима *Delphi* студије. Од чланова панел групе је потом затражено да на основу сопственог искуства и знања о проблему истраживања предложи додатне дескрипторе сложености имплементације PLM-а, који нису били обухваћени иницијалном листом. Овај процес је резултирао са 8 нових атрибута, чија је терминологија унифицирана, а затим је затражена повратна информација од чланова групе да ли су њихови предлози правилно интерпретирани. Као резултат формирања је консолидована листа која је укључила укупно 58 атрибута (табела 59 у прилогу 3), при чему идентификовани атрибути не упућују искључиво на специфичне карактеристике имплементације PLM-а, већ и на концептуалне аспекте сложености пројеката.

Панелистима је затим затражено да, ослањајући се на сопствено знање и практично искуство, издвоје атрибуте које сматрају значајним за описивање сложености пројеката имплементације PLM. За укупно 44 атрибута је постојала већинска сагласност свих учесника *Delphi* панела (одабрани су од стране 50% и више *Delphi* панелиста), ови атрибути представљају предмет даљих разматрања у оквиру *Delphi* процеса.

Друга итерација *Delphi* процеса има за циљ оцену и рангирање атрибута на основу њиховог утицаја на сложеност пројеката имплементације PLM-а, од *Delphi* панелиста је затражено да изведу оцене за сваки од атрибута користећи се IT2TrF скалом датом у табели 13.

Табела 13. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви коришћени у *Delphi* процесу

Лингвистичке варијабле	IT2TrF бројеви
Веома низак	(0,0,0,0.1;1,1) (0,0,0,0.05;0.9,0.9)
Низак	(0,0.1,0.15,0.3;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)
Средње низак	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
Средњи	(0.3,0.5;0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
Средње висок	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
Висок	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)
Веома висок	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)

Као резултат друге итерације генерише се тежина атрибута у облику IT2TrF броја $\tilde{\epsilon}_i$ (52) агрегацијом појединачних оцена учесника *Delphi* панела ($\tilde{\epsilon}_i^k$), k представља редни број *Delphi* панелисте ($k = 1, 2, \dots, K$). Агрегација оцена је извршена применом методе геометријске средине према (53).

$$\tilde{\epsilon}_i = (\epsilon_{12}^U, \epsilon_{13}^U, \epsilon_{14}^U; H_1(\epsilon^U), H_2(\epsilon^U))(\epsilon_{11}^L, \epsilon_{12}^L, \epsilon_{13}^L, \epsilon_{14}^L; H_1(\epsilon^L), H_2(\epsilon^L)) \quad (52)$$

$$\tilde{\epsilon}_i = (\prod_{k=1}^K \tilde{\epsilon}_i^k)^{\frac{1}{K}} = [\tilde{\epsilon}_i^1 \otimes \tilde{\epsilon}_i^2 \otimes \dots \otimes \tilde{\epsilon}_i^K]^{\frac{1}{K}} \quad (53)$$

Ранг атрибута сложености изводи се на основу дефазификованих тежина атрибута (ε_i), процес дефазификације је заснован на *Center of Area (COA)* методи (54), којом се одређује *Best Nonfuzzy Performance (BNP)* вредност фази броја, при чему се вредности $\varepsilon_{01,2,3,4}$ односе на аритметичке средине доњих и горњих граница IT2TrF броја $\tilde{\varepsilon}_i$.

$$\varepsilon_i = \frac{\int xu(x)dx}{\int u(x)dx} = \frac{-\varepsilon_{01} \cdot \varepsilon_{02} + \varepsilon_{03} \cdot \varepsilon_{04} + \frac{1}{3}(\varepsilon_{04} - \varepsilon_{03})^2 - \frac{1}{3}(\varepsilon_{02} - \varepsilon_{01})^2}{-\varepsilon_{01} - \varepsilon_{02} + \varepsilon_{03} + \varepsilon_{04}} \quad (54)$$

За праг прихватања атрибута сложености (α) усваја се аритметичка средина вредности ε_i ($i = 1, 2, \dots, N$) атрибута разматраних у оквиру дате *Delphi* итерације. Атрибути који не задовољавају услов $\varepsilon_i \geq \alpha$ се изостављају из даљег *Delphi* процеса. Одабрани атрибути представљају улаз у наредну *Delphi* итерацију, у оквиру које су добијени резултати најпре представљени учесницима панела након чега је уследила отворена дискусија, од панелиста је потом затражено да преиспитају своје оцене у светлу консолидованих резултата из претходне итерације. За проверу међусобног консензуса учесника панела предложени модел утврђује разлику између просечних и појединачних оцена панелиста. Поступак се понавља све док се не постигну два приближна узастопна просека. Процес прикупљања мишљења учесника *Delphi* панела је укључио две итерације пре постизања неопходног консензуса.

Резултати *Delphi* студије су представљени у табели 59 у прилогу 3. Листа атрибута сложености установљена кроз *Delphi* процес укључује укупно 24 атрибута и чини редефинисани оквир сложености (слика 46) који представља основу за анализу сложености пројеката у оквиру иницијатива за имплементацију PLM-а. У циљу лакшег разумевања овог концепта усвојен је приступ класификацији атрибута сложености на пет категорија, укључујући:

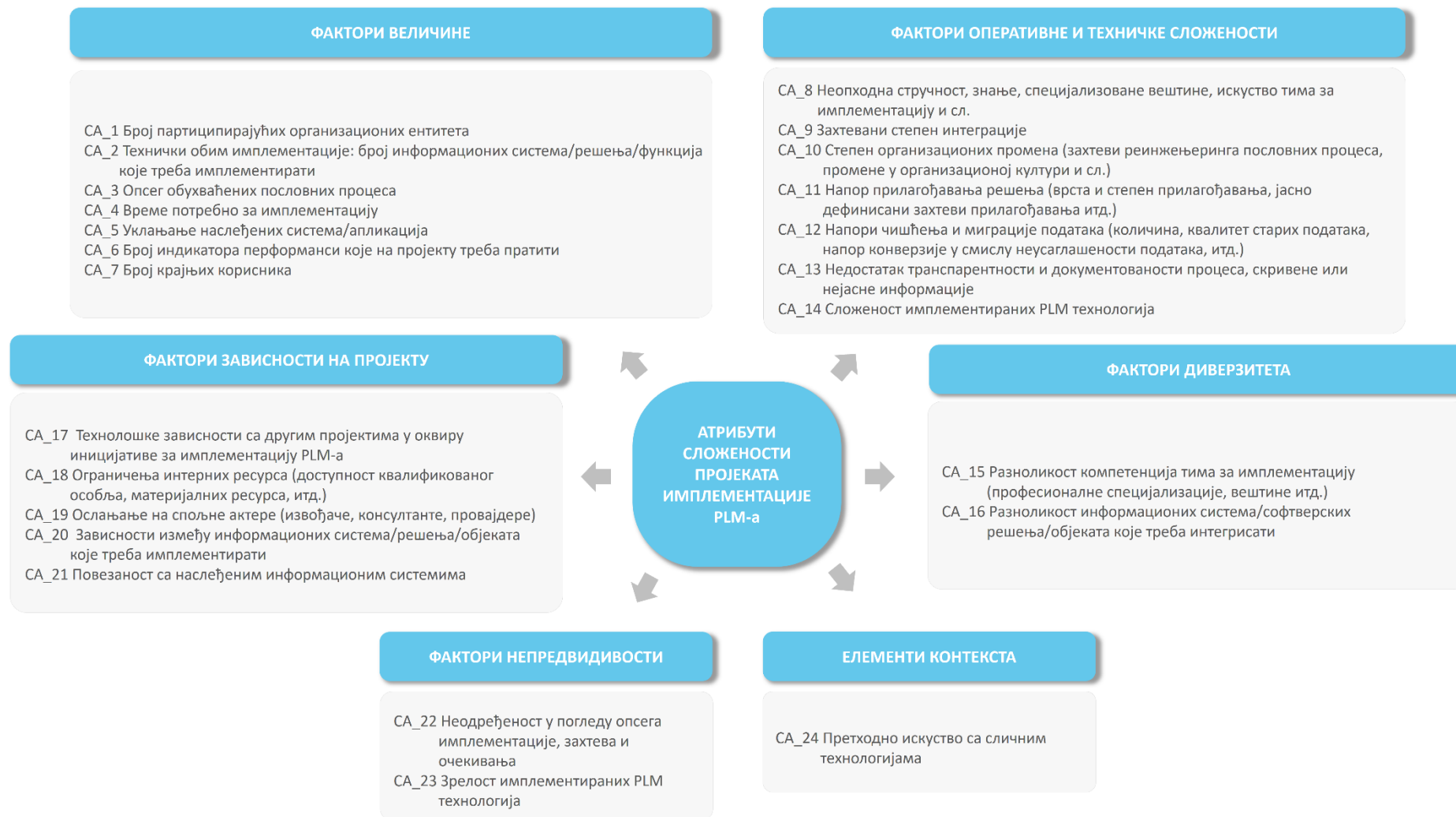
- факторе величине;
- факторе диверзитета;
- факторе техничке и оперативне сложености;
- факторе непредвидивости;
- факторе зависности на пројекту и
- елементе контекста.

Извођење композитне мере сложености пројекта

Релативна мера сложености пројеката имплементације PLM-а се изводи на основу:

- **Тежинских коефицијената одабраних атрибута сложености** ($\tilde{\varepsilon}_i, i = 1, \dots, N$) за које модел усваја релативне тежине генерисане у претходно спроведеном *Delphi* процесу (табела 59). Ове тежине одражавају релативну важност атрибута за анализу сложености пројеката имплементације PLM-а.
- **Анализе и процене утицаја атрибута на сложеност пројекта** ($\tilde{\vartheta}_{ij}$). Након анализе својстава пројекта према атрибутима обухваћеним оквиром, процењује се отежавајући утицај који одређено својство може имати на разумевање, предвиђање и контролу понашања пројекта и у складу са тим описује се утицај датог својства коришћењем лингвистичке скале представљене у табели 14.

Имајући у виду да се овакве процене заснивају на крајње субјективним перцепцијама евалуатора, које често зависе од интуиције и личног искуства, што генерише одређену несигурност у артикулисању преференција, како би се редуковале потенцијалне неодређености и двосмислености у проценама, лингвистичке карактеризације се превode у IT2TrF бројеве, сагласно датој скали.



Слика 46. Оквир сложености пројекта имплементације PLM-а

Релативна мера сложености појединачних пројеката у оквиру иницијативе за имплементацију ($\tilde{t}_j$) се изводи као сума пондерисаних вредности на нивоу појединачних атрибута сложености, према следећој формули.

$$\tilde{t}_j = \sum_{i=1}^n \tilde{\varepsilon}_i \otimes \tilde{\vartheta}_{ij} \quad (55)$$

Релативна мера сложености пројекта упућује на ниво напора у реализацији пројекта и његов потенцијални утицај на исход у контексту времена, квалитета и трошкова.

Табела 14. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви за оцену сложености пројекта

Лингвистичке варијабле	IT2TrF бројеви
Пројекат се сматра неизводљивим	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)
Пројекат је изводљив али се доводи у питање његова оправданост	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)
Својство има значајан отежавајући утицај на реализацију пројекта али не доводи у питање оправданост пројекта	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
Својство има отежавајући утицај на реализацију пројекта са значајним утицајем на исход пројекта	(0.3,0.5;0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
Својство има отежавајући утицај на реализацију пројекта са мањим утицајем на исход пројекта	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
Својство има отежавајући утицај на реализацију пројекта али је његов утицај на исход пројекта занемарљив	(0,0.1,0.15,0.3;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)
Својство има занемарљив отежавајући утицај на реализацију пројекта	(0,0,0,0.1;1,1) (0,0,0,0.05;0.9,0.9)

7.7 Предлог модела за анализу ризика имплементације PLM-а

Предложени модел анализе ризика пружа могућност предикције неизвесних околности које могу утицати на пројекте имплементације PLM-а и њихових последица на исходе пројекта. Модел дефинише факторе са потенцијалном генерисања негативних или непожељних утицаја у смислу циљаних вредности пројекта и предвиђа утврђивање квантитативне мере изложености ризику у ситуацијама неизвесности, користећи теорију IT2F скупова за редуковање несигурности и непрецизности које се у моделу јављају.

Наставак уводи основне концепте у области управљања ризицима, пружа преглед методолошких приступа анализи ризика, док је у другом делу приказан методолошки приступ усвојен у развоју модела анализе ризика пројекта имплементације PLM-а и представљен сам модел.

7.7.1 Концепт ризика и методолошки приступи анализи ризика

Не постоји универзално разумевање концепата који се у области управљања ризицима сматрају фундаменталним (фактори ризика, вероватноћа настанка ризика, функција губитка итд.), док сам термин ризик наилази на различита тумачења у зависности од контекста у коме се користи. Према општеприхваћеном ставу, ризик указује на непознате ситуације или догађаје које у одређеним околностима могу проузроковати одступања од циљева пројекта, а чији се настанак или начин манифестације не могу поуздано предвидети.

PMBOK и PRINCE (*P*rojects *I*N *C*ontrolled *E*nvironments) стандарди за управљање пројектима декларишу ризик као неизвесно стање или догађај, који ће, у случају да се догоде, имати утицај на бар један од циљева пројекта, укључујући трошкове, време и квалитет [17, 324]. Sato и Hirao [363] описују ризике као „критичне ситуације у којима пројектне активности нису у стању да обезбеде исходе неопходне за постизање циљева пројекта“. Према стандарду ISO 31000, ризик се представља као „ефекат неизвесности на циљеве пројекта, који се може манифестовати као негативно или позитивно одступање од

назначених циљева.“⁶⁶ Сходно овим тумачењима, ризик укључује две димензије, неизвесност и последице које се посматрају као одступање у односу на референтне вредности, што се тумачи као ризик догађаја и ризик исхода.

Иако се неизвесност користи као кључни појам у концептуализацији ризика, при чему преовлађује тумачење ризика као последице неизвесности, често се наглашава да неизвесност и ризик не треба нужно поистовећивати. Према једном од карактеристичних схватања, неизвесност се везује за ситуације за које није могуће сасвим поуздано предвидети исход, међутим како *Kirkham* и *Hogan* [232] објашњавају, догађај ће се сматрати неизвесним онда када се не могу извести никакве вероватноће његовог настанка. Са друге стране, аутори су склони схватању да се ризик односи на непознате догађаје или стања који се у одређеној мери могу предвидети користећи се варијаблама вероватноћа настанка и функција губитка који генеришу. Ризик се заправо везује за алеаторну неизвесност, која се јавља у случају када су феномени који се тумаче стохастичке природе, због чега се прибегава пробаблистичким приступима како би се на одговарајући начин описали. Поред алеаторне аутори указују на епистемичку неизвесност која се јавља услед недостатка података или знања о појави која се моделира и манифестује се кроз непрецизне интерпретације, двосмислености итд.

Имајући у виду постојећа тумачења ризика, индикативно је да виши ниво неизвесности генерише већу изложеност ризику, са друге стране, неизвесне ситуације индукују немогућност контроле, због чега се управљање ризицима види као „средство које за циљ има да стави под контролу потенцијалне нестабилности проузроковане ризицима које могу угрозити успех пројекта. Управљање ризицима се дефинише као скуп системских активности подржаних низом политика и процедура за проактивно идентификовање, избегавање или ублажавање ризика у специфичном окружењу“⁶⁷. То је „научно заснован, системски приступ идентификовању, анализи и реаговању на ризик, са општим циљем избегавања негативних ефеката непредвиђених околности или њиховог свођења на прихватљив ниво.“⁶⁸ Концепт укључује низ активности кроз које се контролишу сви аспекти нестабилности проузроковани ризицима, тако да се одступања у односу на пројектоване циљеве доведу у прихватљиве границе.

Већина модела управљања ризицима представља модалитете неколико карактеристичних процеса. На пример, према *Madill* [263], управљање ризицима укључује формулисање контекста анализе ризика, процену, третирање и на крају праћење ризика. *Boehm* [38], са друге стране, идентификује два генеричка корака у моделу управљања ризицима: процену ризика (идентификовање ризика, анализу и оцену озбиљности ризика) и контролу ризика (план управљања ризицима, решавање ризика и праћење ризика). Слично овом моделу *Schwalbe* [366] активности процеса управљања ризицима дели на идентификовање ризичних догађаја, квалитативну и квантитативну анализу ризика, планирања одговора на ризик, праћење и контролу ризика. При чему према *PMI* [324] идентификовање ризика укључује препознавање и документовање ризика специфичних за дати контекст кроз спознају догађаја или ситуација које могу угрозити/поспешити постизање циљева. Анализа ризика има за циљ утврђивање приоритета реаговања на ризик на основу прогнозиране вредности утицаја и вероватноће наступања појединачних ризика. Планирање одговора на ризик подразумева одабир стратегије за смањење изложености ризику, односно елиминисање или ублажавање/наглашавање утицаја ризика на референтне вредности, док

⁶⁶ ISO (2018)

⁶⁷ Hartono и др. (2019)

⁶⁸ Arachchi и др. (2015)

праћење и контрола ризика укључује предузимање планираних одговора у циљу ублажавања утицаја пројектног ризика и процену ефикасности предузетих мера.

Ризик се тумачи као мерљива појава која синтезује два концепта, вероватноћу наступања ризичног догађаја/ситуације и функцију губитка који генерише. Што имплицира потребу за одговарајућим метрикама у циљу моделирања ризика, чији је избор детерминисан контекстом и циљевима истраживања, при чему се у пракси најчешће користи концепт очекиваних вредности и вероватноће. Према систематизацији коју дају *Urbański* и др. [418], ове метрике обухватају али нису ограничене на: вероватноћу појаве и озбиљност последица; меру последица, неизвесност повезану са последицама и знање које подржава процене; вероватноћу појаве опасности, рањивост на дату опасност и очекивани губитак проузрокован деловањем опасности; могуће сценарије, њихове вероватноће и последице које генеришу.

Развијени концептуални оквири за класификацију ризика у ИТ/ИС пројектима, факторе ризика најчешће посматрају кроз димензије управљања и контроле, социјалног и технолошког подсистема. *Wallace* и др. [433] дефинишу оквир заснован на теорији социотехничких система, који обухватајући и друштвени и технолошки контекст ових пројеката концептуализује потенцијалне ризике у шест димензија: организационо окружење, захтеви, корисници, пројектни тим, домен планирања и контроле пројекта, фактори комплексности пројекта са традиционалног техничког гледишта. *Nakatsu* и *Iacovou* [297] додају димензије као што су усаглашеност са организацијом, технолошко планирање, дизајн софтверског система. Према класификацији коју дају *Chang* и др. [72] фактори ризика се деле на домен управљања и извршења, софтверских система, корисника и технолошког планирања. Потенцијалне факторе ризика у имплементацији PLM-а *Singh* и др. [380] разматрају у контексту три димензије, а то су технологије, људи и процеси.

Истраживања у области ризика су се развијала у два карактеристична правца, развој специфичних модела за идентификовање, процену и карактеризацију ризика и употребу оваквих модела за управљање ризицима у специфичним областима. Како би се одговорило на потребу за ефикаснијим управљањем ризицима у ИТ/ИС пројектима, развијено је више модела који теже ка успостављању шире перспективе процене и управљања ризицима у контексту ових пројеката. При чему су се истраживања у овој области развијала у неколико праваца, укључујући анализу фактора ризика, развој методологије за процену ризика, стратегије реаговања на ризике, анализу различитих перцепција ризика итд. Преглед доступних модела управљања ризицима у ИТ/ИС пројектима дат је у табели 15, преглед укључује специфичне циљеве и методолошки приступ истраживању.

Оквир који предлаже *Thangamani* [410] подржава оцену и анализу варијабилности ризика користећи *Monte Carlo* симулације утицаја ризика и других извора неизвесности на укупну вредност пројекта. Развијен је математички модел за повезивање фактора ризика са исходима пројекта, док статистичка анализа резултата симулације даје процену укупне изложености пројекта ризику. Сличан модел користе и *Hojjati* и *Noudehi* [184] за анализу утицаја ризика на индикаторе перформанси пројекта. За анализу односа између ризика и процену њихове вероватноће и утицаја *Sipayung* и *Sembiring* [383] користе Бајесову мрежу (енг. *Bayesian Network*). *Hsieh* и др. [187] конципирају модел анализе ризика заснован на фази логици (енг. *Fuzzy Logic Risk Analysis Model – FLRAM*) за оцену укупне изложености пројекта ризику користећи се метриком фази оцене утицаја ризика (енг. *Fuzzy Risk Impact Rating - FRIR*). Модел комбинује концепт вишекритеријумске анализе и теорију фази скупова за редукцију двосмислености у проценама. Предложени процес укључује одабир димензија и релевантних индикатора за процену ризика; процену, анализу и синтезу критеријума за одређивање FRIR индекса на нивоу пројекта и FRSIs (*Fuzzy Risk Severity Indices*) индекса на нивоу појединачних индикатора. Модел за процену и квантификовање

ризика који предлажу *Bharathi* и др. [32] се базира на примени *Fuzzy Petri Nets (FPNs)* алата, који омогућава моделирање динамичних процеса на начин сличан симулацији система, у конкретном моделу FPNs олакшава креирање алгоритама са дефинисањем минималног и максималног прага ризика.

Табела 15. Преглед доступних приступа проучавању ризика у ИТ/ИС пројектима

Циљ истраживања	Методолошки приступ	Студије
Успостављање оквира за управљање ризицима у развоју софтвера за медицинске уређаје са наглашеном перспективном корисника	Теоријски модел	[252]
Проучавање утицаја различитих техника управљања ризицима и фактора ризика у пројектима развоја софтвера применом техника рударења	Анализа фази вишеструке регресије, технике рударења	[132]
Развој модела за анализу односа између ризика и процену њиховог утицаја на пројекте развоја софтверских апликација	Bayesian Network и Boehm-ови принципи ризика у развоју софтвера	[383]
Развој модела за идентификовање, анализу и приоритизацију потенцијалних ризика употребљивости софтвера	Фази AHP, Design-reality gap	[219]
Развој фази модела за процену укупног нивоа изложености ризику пројеката развоја софтвера	FLRAM, FRISs, FRIR, фази пондерисани просек	[187]
Процена ризика у вези са проширењем ERP интеграције између партнера у ланцу снабдевања	FPN	[32]
Развој општег оквира за управљање ризицима, истраживање и категорисање ризика и процена њихове варијабилности у циљу минимизирања негативних ефеката на перформансе пројеката усвајања ERP-а	RAT, Monte Carlo симулације	[410]
Хибридни модел фази вишекритеријумског одлучивања за анализу ризика у пројектима развоја софтвера за подршку одлучивању током животног циклуса софтверског производа	Фази MCDM, фази DEMATEL, TODIM	[361]
Модел анализе ризика у имплементацији сложених информационих система – одређивање приоритета фактора ризика у имплементацији ERP система	Фази FMEA (FCM, фази GTMA)	[31]
Развој интегрисаног модела за идентификовање и анализу међусобних односа и утврђивање индекса фактора ризика у имплементацији PLM приступа	MCDM, DEMATEL, ANP, Grey TOPSIS	[380]
Анализа потенцијалних ризика у пројектима имплементације PLM приступа повезаних са организационим и технолошким променама	Теоријски модел	[382]

Модели класификације и процене ризика у овој области најчешће се ослањају на статистичке податке, међутим како *Keil* и др. [222] наводе, овакви приступи губе на ефикасности у суочавању са нејасноћама и несигурностима својственим људском когнитивном процесу, због чега се као алтернативни приступ користе хибридни модели вишекритеријумске анализе у комбинацији са теоријом фази скупова за редуковање несигурности и непрецизности које се у моделу јављају. Овакви модели налазе примену у домену структурирања критеријума и пондерисања кластера, анализе унутрашњих и спољашњих зависности различитих фактора ризика, генерисања њихових тежинских коефицијената итд. У моделу анализе ризика који предлажу, *Singh* и др. [380] користе комбинацију Grey DEMATEL засноване ANP методе (DANP) и Grey TOPSIS методе, док *Suresh* и *Dillibabu* [398] дефинишу фази механизам за анализу ризика који користи модел вишекритеријумског одлучивања заснован на адаптивном *neuro-fuzzy* систему закључивања (енг. *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System - ANFIS*) и *intuitionistic fuzzy* TODIM методи. Модел за структурирање и приоритизацију фактора ризика који предлажу *Kartika* и *Surendro* [219] користи ANP методу у комбинацији за фази системом закључивања, сличан приступ предлажу *Sangaiah* и др. [361], користећи хибридни модел који интегрише DEMATEL и TODIM методе.

7.7.2 Модел анализе ризика пројеката имплементације PLM-а

Приступ анализи ризика који се у оквиру модела предлаже је преузет из постојећих концепата управљања ризицима, при чему се предложени модел фокусира искључиво на домен процене ризика који укључује идентификовање или спознају фактора ризика и предикцију вероватноће настанка и последица које могу генерисати. Фактори ризика се у контексту овог истраживања тумаче као неизвесни догађаји/ситуације са потенцијалом генерисања одступања у односу на циљеве пројекта.

Ослањајући се на концептуализације доступне у различитим библиографским изворима, ризик се у контексту овог истраживања тумачи као скуп фактора или околности које карактерише неизвесност и који могу генерисати претњу по остваривање пројектованих циљева у контексту трошкова, времена, испоручене пословне вредности пројекта итд.

Полазећи од дефиниције према којој је ризик „комбинација вероватноће реализације претње тј. околности или догађаја са потенцијалом негативног утицаја на одређену вредност и њихових последица при искоришћавању постојећих рањивости или слабости,⁶⁹ степен ризика је одређен варијаблама 1) последице повезане са неизвесним догађајем/ситуацијом и 2) вероватноћа настанка догађаја/ситуације. Метрика која синтезује ове варијабле је мера озбиљности ризика, која се перципира као прогнозирана вредност негативног утицаја који ризични догађај/ситуација генеришу у условима неизвесности. При чему се цео концепт заснива на премиси да су ризици дискретни догађаји за које се вероватноће које се тичу њиховог настанка могу проценити са задовољавајућим степеном поузданости.

Идентификовање и категоризација фактора ризика пројеката имплементације PLM-а кроз *Delphi* студију

Први корак у развоју модела анализе ризика се односи на идентификовање и категоризацију фактора ризика специфичних за пројекте имплементације PLM-а, на основу прегледа литературе у области управљања ИТ/ИС пројектима и литературе у области имплементације PLM-а. Истраживачки процес је укључио избор база података за претрагу релевантних публикација, дефинисање критеријума за екстракцију података, преглед и избор публикације које одговарају контексту истраживања, екстракцију података за анализу и синтезу фактора ризика специфичних за дати контекст. Прегледом библиографских база података *Scopus*, *Google Scholar*, *ScienceDirect* и *KoBSON* идентификовано је укупно 115 студија које задовољавају дефинисане критеријуме претраге. Ове студије су чиниле почетни скуп података, елиминисањем дуплираних публикација и провером њихове релевантности за дати контекст истраживања на основу наслова, сажетка и кључних речи, коначна листа студија је укључила 30 публикација објављених од 2002. до 2024 године.

Детаљним прегледом литературе издвојен је укупно 301 фактор ризика, након чега је усвојена унифицирана терминологија за догађаје/ситуације који се у литератури појављују под различитим терминолошким формулацијама, а могу се сматрати једнозначним. Након терминолошке унификације установљена је иницијална листа од укупно 61 фактора ризика (табела 60 у прилогу 4). Такође је дефинисана таксономија која обухвата факторе ризика идентификоване у прегледаним публикацијама и класификује их у пет димензија:

- ризици повезани са корисницима;
- ризици повезани са процесима;
- ризици повезани са управљањем пројектом;
- ризици повезани са технологијама и
- ризици треће стране.

⁶⁹ PMI (2017)

Ова таксономија је изведена на основу студија анализираних у претходном делу.

Како би се постигао консензус о релативној важности идентификованих фактора ризика за дати контекст истраживања, коришћена је *Delphi* студија која се изводи према моделу приказаном у потпоглављу 7.6.2. За потребе реализације студије оформљен је панел од дванаест учесника, од којих шест стручњака са искуством у пројектима имплементације PLM-а, критеријуми за избор панелиста били су учешће у једном или више пројеката имплементације PLM-а и изнад пет година радног искуства. Одабрани панелисти су учествовали у различитим фазама извођења пројекта имплементације PLM-а као представници провајдера PLM технологија и организација за пружање консалтинг услуга у имплементацији PLM-а. Осталих шест учесника се односи на представнике академске заједнице у релевантним областима.

У оквиру прве итерације *Delphi* процеса, панелистима је представљена иницијална листа фактора, са кратким описом циљева *Delphi* студије. Панелисти су потом позвани да предложе додатне факторе ризика који нису обухваћени иницијалном листом, а које сматрају важним за дефинисани контекст анализе. Процес није резултирао додатним предлозима, што би значило да су панелисти иницијалну листу фактора сматрали свеобухватном. Од панелиста је затим затражено да означе факторе које сматрају релевантним за дати контекст анализе ризика. Као резултат прве итерације, издвојено је укупно 37 фактора, који задовољавају услов да су означени као значајни за дефинисани контекст анализе од стране 50% или више *Delphi* панелиста. Резултати итерације се потом представљају и дискутују у оквиру панела.

У оквиру друге итерација врши се оцена фактора издвојених у оквиру прве итерације *Delphi* процеса у контексту њиховог значаја за анализу ризика пројеката имплементације PLM-а. На основу познавања теоријских претпоставки и практичног искуства у овој области панелисти изводе оцене разматраних фактора сагласно IT2TrF скали датој у табели 13. На основу процедуре објашњене у потпоглављу 7.6.2 генерисане су IT2TrF релативне тежине фактора ризика, док се филтрирање фактора заснива на њиховим дефазификованим вредностима. Као праг прихватања (α) користи се средња вредност дефазификованих тежина фактора ($\varepsilon_i \geq 5.1791$). Степен консензуса међу панелистима тестиран на основу процедуре објашњене у потпоглављу 7.6.2.

Обрађени резултати итерације се панелистима представљају у наредној итерацији, при чему се од панелиста очекује да ревидирају своје ставове узимајући у обзир повратне информације из претходне итерације. Поступак се понавља за сваку наредну итерацију *Delphi* процеса, све док панел не постигне прихватљиви ниво сагласности. Процес прикупљања мишљења учесника *Delphi* панела је укључио две итерације пре постизања задовољавајућег нивоа сагласности међу панелистима.

Као резултат *Delphi* процеса (прилог 4), иницијална листа фактора ризика је консолидована на укупно 20 фактора, који улазе у структуру модела анализе ризика својствених пројектима имплементације PLM-а, коначна структура модела је приказана на слици 47.



Слика 47. Фактори ризика својствени пројектима имплементације PLM-а

Извођење композитне мере изложености пројекта ризику

Други корак у развоју модела упућује на процедуру за извођење квантитативне мере изложености пројекта ризику. У том контексту модел предвиђа:

- **Утврђивање мере озбиљности фактора ризика** ($\tilde{v}_i, i = 1, 2, \dots, n$). У контексту предложеног модела ова мера се тумачи као прогнозирана вредност негативног утицаја који ризични догађај/ситуација генерише у условима неизвесности, с тим у вези утврђује се на основу варијабли:
 - вероватноћа настанка ризика ($\tilde{p}_i$) и
 - прогнозирани утицај фактора ризика на циљеве пројекта ($\tilde{z}_{ij}$).

Ове процене се ослањају на субјективне перцепције аналитичара, што услед често ограниченог знања или двосмислених информација о појави која се разматра, генерише одређене несигурности, чему треба додати и недоследности људског резонувања. С тим у вези, уводе се лингвистичке карактеризације и IT2TrF бројеви како би се лакше симулирао начин на који човек размишља. У случају предложеног модела, процене

вероватноће и утицаја ризика се моделирају лингвистичким карактеризацијама и њима припадајућим IT2TrF бројевима сагласно скалама које су инспирисане *Harrington*-овим коефицијентима (табеле 16 и 17), док се мера озбиљности појединачних фактора ризика ($\tilde{v}_i$) одређује као производ датих варијабли (56).

$$\tilde{v}_i = \tilde{p}_i \otimes \tilde{z}_{ij} \quad (56)$$

Добијени пондери служе као показатељи релативне тежине појединачних ризика.

- **Оцена укупне изложености ризику пројекта** ($\tilde{v}_j, j = 1, 2 \dots, m$) синтезује мере озбиљности утврђене на нивоу појединачних фактора ризика којима је дати пројекат изложен и изводи се према следећој формули.

$$\tilde{v}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \tilde{p}_i \otimes \tilde{z}_{ij}}{n} \quad (57)$$

Табела 16. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви за процену утицаја ризика

Лингвистичке варијабле	IT2TrF бројеви
Рад на пројекту је у потпуности обустављен	(0,9,1,1,1;1,1) (0,95,1,1,1;0,9,0,9)
Настала одступања су проузроковала ревизије циљева пројекта	(0,7,0,85,0,9,1;1,1) (0,8,0,85,0,9,0,95;0,9,0,9)
Пројекат је реализован али са значајним одступањима у односу на предвиђене циљеве	(0,5,0,7,0,75,0,9;1,1) (0,6,0,7,0,75,0,8;0,9,0,9)
Дошло је до одступања у односу на циљеве пројекта али је пројекат прихваћен	(0,3,0,5;0,55,0,7;1,1) (0,4,0,5,0,55,0,6;0,9,0,9)
Пројекат је завршен са мањим одступањем у односу на циљеве	(0,1,0,3,0,35,0,5;1,1) (0,2,0,3,0,35,0,4;0,9,0,9)
Незнатна одступања у односу на циљеве пројекта	(0,0,1,0,15,0,3;1,1) (0,05,0,1,0,15,0,2;0,9,0,9)
Занемарљив утицај на циљеве пројекта	(0,0,0,0,1;1,1) (0,0,0,0,05;0,9,0,9)

Табела 17. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви за процену вероватноће настанак ризика

Лингвистичке варијабле	IT2TrF бројеви
Загарантован настанак ризика	(7,8,9,9;1,1) (7,2,8,2,8,8,9;0,8,0,8)
Ризик ће настати	(5,6,8,9; 1,1) (5,2,6,2,7,8,8,8;0,8,0,8)
Настанак ризика није загарантован али је могућ	(3,4,6,7;1,1) (3,2,4,2,5,8,6,8;0,8,0,8)
Настанак ризика је могућ	(1,2,4,5;1,1) (1,2,2,2,3,8,4,8;0,8,0,8)
Вероватноћа настанка ризика је мала, али ипак постоји	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;1,1)
Не постоји вероватноћа настанка ризика	(0,0,0,0;0,0) (0,0,0,0;0,0)

7.8 Предлог модела за анализу стратешких доприноса имплементације PLM-а

Предложени модел за анализу стратешких доприноса имплементације PLM-а пружа могућност евалуације стратешке усаглашености пројекта у оквиру иницијатива за имплементацију PLM-а. Своју концептуалну основу модел проналази у BSC оквиру за мерење и управљање пословним перформансама. Модел пружа интегрисани оквир који идентификује потенцијална подручја утицаја PLM-а на стратешке циљеве организације, комбинован са IT2FAHP/IT2FQFD моделом евалуације.

PLM утиче на све аспекте организације генеришући значајан потенцијал за оптимизацију перформанси пословања. Његова имплементација обезбеђује оперативна побољшања генерисана унапређењем интерних процеса, која се огледају у повећању продуктивности, непосредним новчаним уштедама итд., али и стратешке доприносе који произилазе из јачања конкурентске снаге предузећа или повећаног задовољства корисника итд., често индуковане оперативним побољшањима. Према *Immonen* и *Saaksvuori* [193] утицај PLM-а се не манифестује искључиво кроз мерљиве финансијске ефекте који се генеришу кроз

непосредне новчане користи настале акумулацијом уштеда услед веће продуктивности, нижих трошкова квалитета итд., ови ефекти могу бити и индиректни и настају као последица бржег пласирања производа на тржиште, повећаног квалитета производа, ефикаснијег реаговања на промене у ланцима снабдевања, технологијама итд. Према *Wu* и др. [443] мерљиве материјалне користи које иницијативе блиске PLM-у обезбеђују се манифестују у различитим аспектима ефикасности оперативних процеса предузећа, док се нематеријалне користи генеришу кроз унапређење организационих снага (попут прилагодљивости, иновативности, конкурентске снаге итд.) и интерних организационих компетенција (нпр. способност когниције информација предузећа у општу компетентност запослених итд.).

Иако постоји значајан корпус истраживања са фокусом на разумевање начина на који PLM доприноси генерисању пословних вредности за организацију, анализа утицаја PLM-а на перформансе организације се у литератури третира на недовољно обухватан начин, при чему различита истраживања дају неконзистентне резултате, што може бити последица различитих перспектива или фрагментисаног приступа истраживању. Такође, недостају аналитички оквири за евалуацију доприноса генерисаних имплементацијом PLM-а, штавише у доступној литератури постоји свега неколико радова на ову тему. Модел који предлажу *Alemanni* и др. [8] користи концепт индикатора кључних перформанси, у чијем одабиру аутори полазе од индикатора краткорочне ефикасности производње који укључују финансијске и технолошке показатеље. Међутим модел се фокусира на процену користи индукованих на краткорочном нивоу, при чему не узима у обзир дугорочно генерисана побољшања. *Mingjing* и др. [287] предлажу модел процене користи генерисаних имплементацијом PLM-а који укључује економски и неекономски аспект процене, међутим ови модели не дају могућност анализе доприноса PLM-а у раним фазама имплементације. *Tomovic* и др. [413] дефинишу логички модел за развој метрика за мерење утицаја PLM-а изведених из пословних циљева организације, који се односе на раст прихода и профитабилности. Такође, *Jeon* и *Bang* [202] промовишу приступ према коме стратегију имплементације PLM-а треба дефинисати сагласно приоритету PLM функционалних елемената односно пословних области, процеса и организационих улога које је неопходно прилагодити у циљу успостављања PLM-а, при чему се одређивање ових приоритета заснива на системској анализи утицаја PLM-а на организационе перформансе.

Литература бележи више модела за процену општих користи од имплементације информационих система али и за потребе евалуације перформанси специфичних решења блиских PLM-у, попут ERP-а. Међутим већина ових модела прибегава поједностављеним приступима са једностраним аспектима процене, као што су индикатори финансијског утицаја организације. Имајући у виду да информациони системи генеришу пословну вредност и на оперативном и на стратешком нивоу, многи аутори се слажу да методе процене које се ослањају искључиво на финансијске или технолошке индикаторе нису погодне за овакве контексте. Заправо је кључно разумети како овакве иницијативе доприносе ширим организационим и стратешким циљевима. *Shen* и др. [371] указују да једнодимензионални приступи нису способни да опишу вредности које овакви системи генеришу за организацију, такође да они утичу на скоро све аспекте организационих перформанси због чега је неопходна примена модела који ће ту чињеницу и уважити. С тим у вези, *Shen* и др. [371] заговарају идеју о интегрисаном, холистичком и системском концепту евалуације који треба да у целости отелотвори пословну стратегију, обједињујући материјалне и нематеријалне аспекте евалуације.

Захваљујући свом холистичком погледу на перформансе пословања кроз уравнотежени скуп опипљивих материјалних и нематеријалних мера, BSC концепт се заговара као угодно решење [298, 200, 213, 371]. Према тумачењу које даје *Jain* [198], једна специфична

концептуализација не може правило одражавати вредности које системи блиски PLM-у генеришу за неку организацију, због чега се употреба BSC приступа за операционализацију структуре ових вредности може сматрати прикладним приступом. Интегрисан са различитим методама, BSC се користи као уобичајен начин квантификовања стратешке усклађености у широком спектру контекста (табела 18), при чему је одабир скупа метрика које одражавају стратешко усмерење организације у оваквим моделима укореењен у четири BSC уравнотежене димензије. BSC налази своју примену и као интегрални део аналитичких оквира за систематску анализу стратешких доприноса информационих система али и за евалуацију пословних концепата са израженом ИТ перспективом, који усвајају вишеструке перспективе процене преузете из BSC оквира [28, 200, 213, 239, 264].

Иако је првенствено развијен и користи се за мерење пословних перформанси, BSC у је овом моделу послужио као основа за дефинисање димензија за развој оквира за анализу стратешких усаглашености пројеката имплементације PLM-а. BSC подржава успостављање свеобухватног, интегрисаног оквира који идентификује потенцијална подручја утицаја PLM-а на стратешке циљеве организације. При чему је основна премиса од које се полази у примени BSC концепта у овом контексту да PLM генерише вредности за организацију изван економских утицаја, укључујући и аспекте као што су унапређење интерних процеса, задовољство корисника, утицај на организациони раст и учење. Додатно, предложени процес анализе интегрише AHP/QFD интегрални модел развијен у IT2F окружењу. Концепт и коришћени математички модели ових метода, детаљно су представљени у поглављу 5.

У наставку је представљен BSC концепт са посебним нагласком на његову применљивост у различитим контекстима, док је у другом делу уведен BSC засновани модел евалуације стратешких доприноса PLM-а и детаљније разређен његов оперативни део.

7.8.1 *Banaced Scorecard* концепт и његова применљивост

Избалансирана картица резултата (енг. *Banaced Scorecard* – BSC) је систем за мерење и управљање пословним перформансама који су развили *Kaplan* и *Norton* [214] са намером да превазиђу ограничења традиционалних система мерења на основу финансијских перформанси, допуњујући их скупом индикатора који одражавају задовољство корисника, побољшање интерних процеса, раст и учење, успостављајући на тај начин равнотежу између финансијских и нематеријалних метрика.

Фокусирање система мерења искључиво на финансијске перформансе, усмерава пажњу са циљева дугорочног развоја на краткорочну профитабилност. Како *Kaplan* и *Norton* [215] запажају, финансијски индикатори су се могли сматрати релевантним за мерење учинка компанија из времена када улагања у односе са купцима и дугорочне способности нису била пресудна за успешно стварање и одржавање конкурентске предности. Међутим данас, када улагања у процесе, технологије, иновације итд. представљају предуслов за опстанак, раст и дугорочну профитабилност, системи стратешког управљања морају усвојити знатно ширу перспективу изван традиционалне, финансијске.

BSC пружа холистички систем индикатора за мерење перформанси, конципиран тако да врши процене из финансијске перспективе, перспективе корисника, интерних процеса и учења и раста, одражавајући на тај начин правилно комплексност система перформанси организације. Захваљујући свом интегрисаном погледу на перформансе пословања, како *Kaplan* и *Norton* [215] тврде BSC не одржава само равнотежу између финансијских и нематеријалних метрика већ и између дугорочних и краткорочних циљева, интерних и екстерних перспектива перформанси, управљачких и функционалних индикатора, подржавајући основну намену BSC-а што је, како аутори наводе, имплементација стратегије, побољшање учинка, подршка стратешком одлучивању.

Његова успешна примена према *Halachmi* [169] осигурава од субоптимизације, редукује активности контроле, помаже у процени пословног потенцијала. Према *Shen* и др. [371], примена BSC-а може пружити квалитативну и квантитативну основу за сложене процесе пословног одлучивања, такође, дефинише скуп индикатора који се могу користити за одређивање стратешког правца организације итд.

Првобитно развијен као алат за мерење перформанси, BSC је временом евалуирао у систем стратешког управљања. Основна примена овог концепта се односи на мерење пословних перформанси и формулисање стратегије пословања и њено превођење у скуп циљева описаних кроз уравнотежени систем индикатора. *Khalili* и *Alinezhad* [228] додају да BSC није само алат за артикулисање организационих стратегија, он категорише мере реализације циљева, преводећи стратегију у оперативне изразе. Како многе студије потврђују, улога BSC је знатно шира и обухвата стратешку контролу, евалуацију стања организације и стратешко планирање њеног развоја [236]; усклађивање организационих и индивидуалних иницијатива за постизање заједничких циљева, усаглашавање пословних активности са визијом и стратегијом [215]; праћење перформанси пословања у односу на стратешке циљеве, дијагностиковање проблема у пословању [471]; мерење и управљање променама, повезивање критичних фактора успеха са стратешким циљевима [21].

Табела 18. Преглед BSC заснованих хибридних модела

Интеграција са другим методама	Област примене	Студије
Non-additive fuzzy integral, Choquet integral, BSC	Системски оквир за мерење перформанси ERP система у високотехнолошким фирмама у постимплементационој фази, заснован на хијерархијском BSC моделу	[371]
FMEA, TOPSIS, BSC	Анализа и приоритизација ризика у имплементацији ERP система; идентификовање ризика имплементације у контексту BSC димензија	[5]
Multi-objective metaheuristic algorithms: MOPSO, NSGA-I, BSC	Избор портфолија пројеката развоја нових производа, према аспектима евалуације заснованим на BSC оквиру	[1]
ANP, HoP, QFD, SBSC, UTASTAR algorithm, BSC	Одабир одрживог портфолија пројекта у аутомобилској индустрији; одабир индикатора одрживости на основу SBSC оквира	[151]
ANP, BSC	Приоритизација стратешких пословних јединица у односу на иновационе перформансе; развој система евалуације на основу BSC-а	[305]
Game-Entropy projection attribute function, BSC	Успостављање системског приступа за одабир ERP софтвера	[213]
DEMATEL, ANP, ВIKOP, BSC	Оцена перформанси одрживости у контексту доношења менаџерских одлука; додељивање приоритета стратегијама за постизање одрживости	[110]
ANP, BSC, NGT, TFN	Интегрисани модел за процену и избор добављача, прилагођен карактеристикама аутомобилске индустрије	[145]
Monte Carlo, ANP, TOPSIS, ВIKOP, BSC, TFN	Оцена компетенција за развој нових услуга у банкарском сектору заснована на резултатима избалансиране картице (BSC)	[116]
ANP, BSC	Развој стратегије дигиталне трансформације пословања подржан стратешком анализом организације засноване на BSC оквиру	[469]
TODIM, BSC, Single-values neutrosophic numbers	Оцена пословних перформанси осигуравајућих друштава на основу BSC индикатора	[482]
ANP, ELECTRE, BORDA, TOPSIS, SAW, BSC	Рангирање стратешких иницијатива и одабир стратешких планова, утврђивање критичних аспеката за побољшање перформанси компаније	[104]
BSC, QFD, TOPSIS, GRI	Рангирање економских индикатора, применом модела који интегрише GRI стандард и димензије перформанси засноване на истовременом инжењерингу и BSC-у	[155]
ANP, BSC	Приоритизација и одабир маркетинг стратегије у банкарском сектору на основу критеријума дефинисаних према SBSC оквиру	[291]
DEA, MPI, BSC, Data Mining	Анализа ефикасности зелених ланаца снабдевања, према метрика за мерење утицаја на животну средину, сагласно BSC димензијама	[228]
DEMATEL, TOPSIS, Hesitant fuzzy	Оцена алтернативних инвестиционих улагања у обновљиве изворе енергије према BSC димензијама	[115]

Ayvaz и др. [21] указују да BSC системи за мерење учинка који се у пракси примењују могу бити другачији у односу на оригинални конструкт, дозвољавајући евалуаторима одређену слободу у његовој интерпретацији. Perkins и др. [318] тврде да је BSC довољно флексибилан оквир да буде користан у широком спектру контекста. Заправо, BSC превазилази традиционалне домene примене, захтевајући извесна прилагођавања контексту. До сада је имплементиран на различитим нивоима управљања за проблеме управљања ризицима, управљања квалитетом, управљања пројектима, управљања ланцима снабдевања, управљања променама итд. Табела 18 пружа извод из резултата опсежне анализе литературе, у виду сажетог приказа постојећих BSC заснованих модела и подручја њихове примене. Прегледом литературе су обухваћени хибридни модели чији је BSC оквир интегрални део. Део њих се односи на моделе вишекритеријумске анализе који генеришу критеријуме евалуације изводећи их из система BSC индикатора.

Истраживања посвећена идентификовању ограничења BSC оквира указују на проблеме који се везују за уравнотежење перспектива процене и њихово усклађивање са променљивим стратегијама. Указује се и на немогућност примене генеричких индикатора за процену, због чега се имплементација оквира ослања на стручност аналитичара. Такође, конвенционални BSC оквир не пружа механизам за доделу релативних приоритета појединачним перспективама и њима припадајућих индикатора. Док, Ayvaz и др. [21] тврде да постојеће студије не сведоче довољно уверљиво у којој мери BSC заиста помаже у превазилажењу изазова стратешког управљања као што су краткорочна перспектива, недостатак фокуса на нематеријалне факторе, монетарна оријентација, тенденција ка поједностављеном приступу итд. Такође, они доводе у питање погодност BSC-а као алата за контролу управљања, уз то, наводе проблем статичности проузроковане пренаглашеним унутрашњим фокусом и занемаривањем спољашњег окружења.

Упркос чињеници да многе студије препознају његове слабости, BSC је и даље доминантан приступ у домену управљања учинком. Са друге стране, оквир је до сада био подвргнут различитим методолошким и концептуалним модификацијама што сведочи о сазревању приступа који се користе у његовој имплементацији. Аутори данас интегришу различите математичке моделе и BSC оквир у циљу извођења тежинских коефицијената димензија процене и анализе зависности између индикатора перформанси, укључујући примену ANP, ANP, DEMATEL и SAW метода, Game-Entropy методе пројекције функције атрибута итд. [104, 110, 213, 469]. Khalili и Alinezhad [228] комбинују конвенционални BSC са непараметарском техником DEA (Data Envelopment Analysis) заснованом на Malmquist productivity индексу, обезвређујући виши ниво тачности у односу на конвенционални модел. Barnabè [27] усклађује конвенционални BSC оквир са принципима динамичког система, тврдећи да овакав приступ може пружити снажнију подршку стратешком одлучивању. Модел који предлаже Shen и др. [371] комбинује лингвистичке варијабле и non-additive fuzzy интеграл или Choquet интеграл како би се успоставио објективнији приступ евалуацији перформанси у BSC оквиру.

Треба напоменути и да се BSC процес ослања на субјективне перцепције које зависе од интуиције, личног искуства и знања евалуатора генеришући несигурности по питању субјективних преференција. У циљу лакшег описивања неодређености и двосмислености инхерентних људском резоновању, многе студије успешно интегришу различите теорије неодређености у BSC процес, укључујући примену interval grey [213] и hesitant fuzzy [115] бројева итд.

Од свог првобитног облика, BSC оквир је доживео и одређене концептуалне надоградње. Наиме, у намери да интегришу корпоративну друштвену одговорност у пословну стратегију, Figge и др. [140] дефинишу Sustainability Balanced Scorecard (SBSC) интегрисањем друштвених и еколошких питања као додатне нетржишне димензије BSC

евалуације. Овакав концепт, како тврде, подржава евалуацију пословних перформанси у погледу одрживости организације. *Jiménez-Zarco* и др. [206] уводе нове димензије које омогућавају мерење перформанси и квалитета у развоју нових производа и иновацијама, док су *Marcos* и др. [267] конституисали ИТ-BSC оквир за подршку оптимизацији и контроли ИТ стратегије. Специфична подручја примене овог модела се односе на евалуацију и мерење доприноса информационих технологија пословној вредности, оптимизацију њихове оперативне ефикасности, предлог пословних концепата са доминантном ИТ компонентом.

BSC се користи и у функцији аналитичких оквира за систематску анализу стратешких доприноса увођења информационих система, укључујући и евалуацију пословних концепата са израженом ИТ перспективом, који усвајају вишеструке перспективе процене преузете из BSC оквира. Различита истраживања у овој области доприносе дубљем теоријском погледу на примену BSC оквира за процену улагања у информационе технологије, указујући на његову способност да уравни тежи нематиријалне утицаје са традиционалним финансијским индикаторима учинка. Како *Jain* [198] објашњава, финансијска перспектива разматра економске ефекте генерисане на нивоу организације узимајући у обзир индикаторе попут новчаних токова, профитне марже итд. Генеришући вредности из оптимизације интерних пословних процеса, информациони системи утичу на унапређења пословања. Такође генеришу вредности из перспективе корисника, доприносећи стварању специфичних вредности за тржиште утичу на веће задовољство корисника, поред тога, доприносе унапређењу компетенција запослених, бржој размени знања итд. генеришући побољшања у организационим способностима учења и раста.

Примери примене BSC заснованих оквира у овој области су оквири успостављени за потребе евалуације перформанси ERP система [371], евалуације система за управљање знањем [200], мерења и унапређења агилности информационих система [346], евалуације ИТ пројеката [28], одабира конфигурације ERP система [213] и други.

7.8.2 Модел анализе стратешких доприноса PLM-а

За потребе анализе стратешке усаглашености пројеката у оквиру иницијатива за имплементацију PLM-а установљен је модел за анализу пословних вредности које генеришу у контексту доприноса пословној стратегији и утицаја на побољшање оперативне ефикасности пословања, при чему модел усваја вишеструке перспективе процене сагласно BSC оквиру. Предложени приступ доприноси развоју модела имплементације усаглашеног са стратешким приоритетима организације, наиме BSC подржава успостављање интегрисаног оквира, који идентификује потенцијална подручја утицаја PLM-а, при чему његова погодност лежи у способности да уравни тежи нематиријалне утицаје са мерама финансијског учинка.

Модел разматра усаглашеност пројеката имплементације PLM-а са стратешким циљевима организације, интегришући различите перспективе у јединствен оквир евалуације, користећи се BSC концептом као основом. У том контексту, модел концептуализује доприносе PLM-а у четири перспективе: финансијска перспектива, перспектива интерних процеса, корисника, учења и раста. Наведене BSC перспективе представљају димензије евалуације, чије укључивање гарантује свеобухватну анализу стратешких доприноса PLM-а. У циљу прилагођавања BSC перспектива контексту евалуације специфичном за ово истраживање, дефинисани су релевантни аспекти евалуације за сваку од перспектива.

Први корак у развоју модела се односи на конструисање оквира BSC заснованих аспеката евалуације PLM стратешких доприноса. Из доступне литературе, методом индуктивног закључивања издвојена су укупно 23 параметра, која описују потенцијалне доприносе PLM-

а, ослањајући се на BSC перспективе. Конструисани оквир (слика 48) укључује показатеље финансијског учинка и нематеријалне параметре, при чему се полази од премисе да нематеријални параметри обухваћени BSC оквиром представљају покретаче финансијског учинка. Одабрани показатељи су релевантни за контекст анализе и покривају сва важна подручја потенцијалног утицаја PLM-а, такође задовољавају принцип нерעדудантности, чиме је постигнут предуслов за успостављање објективног механизма мерења.

Други корак се односи на успостављање процедуре за анализу стратешких доприноса појединачних иницијатива у оквиру имплементације PLM-а. Предвиђена процедура укључује два корака:

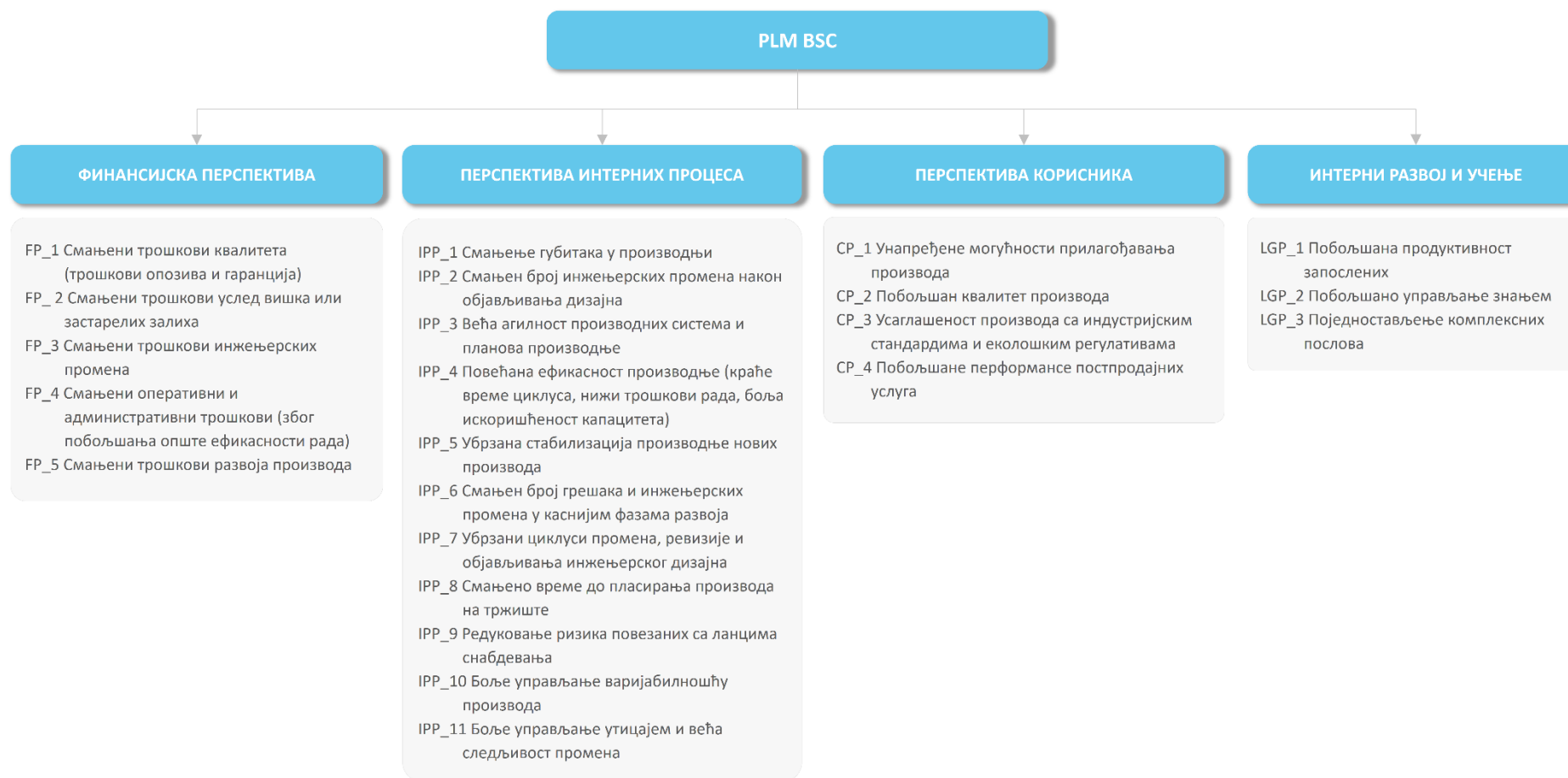
- **Приоритизација BSC заснованих аспеката евалуације** у односу на стратешке циљеве ППС-а. Процес извођења релативних приоритета се базира на IT2FАНР методи, чији је концепт и математички модел представљен у потпоглављу 5.2.

Добијени тежински коефицијенти одражавају стратешке приоритете организације и представљају инпут за трећи део модела, који утврђује методологију за евалуацију доприноса појединачних иницијатива у оквиру имплементације PLM-а.

- **Квантификовање утицаја на генерисање потенцијалних користи.** У основи методологије која се предвиђа је QFD аналитички процес, установљен према моделу развијеном у IT2F окружењу који је представљен у потпоглављу 5.6.

У контексту предложеног методолошког приступа, QFD процес корелира специфична PLM функционална подручја (атрибути квалитета) са BSC заснованим аспектима анализе (атрибути захтева), који се третирају као потенцијална подручја утицаја PLM-а, док се њихови релативни приоритети изводе на основу претходно уведеног АНР заснованог процеса приоритизације.

Као резултат QFD процеса генерише се укупна корисност PLM функционалних подручја изведена на основу BSC заснованих аспеката евалуације, која упућује на њихову стратешку усаглашеност и може служити као параметар за поређење стратешких доприноса које генеришу. Модел разрађен у овом раду се ослања на субјективне процене QFD евалуатора, овакве процене зависе од личног искуства и знања о појави која се разматра, што је нарочито изражено у случају нематеријалних параметара. У циљу моделовања непрецизности и двосмислености које произилазе из недоследности и колебања својствених људском когнитивним процесу, користе се IT2F скупови за математичко описивање нејасних лингвистичких варијабли предвиђених за исказивање преференција у QFD процесу.



Слика 48. BSC засновани аспекти евалуације стратешких доприноса пројеката имплементације PLM-а

7.9 Предлог модела за анализу утицаја имплементације PLM-а на организационе способности развоја нових производа

У основи приступа који се предлаже је критичко преиспитивање тренутног стања процеса развоја нових производа у циљу мапирања латентних потреба ППС-а у контексту неопходних оптимизација, разумевање њихових приоритета у специфичним пословним околностима и генерисање квантитативних показатеља утицаја PLM-а. Приступ који се предлаже је у складу са претпоставкама изнетим у оквиру публикације *Пузовић* и др. [335]

Развој нових производа се поима као специфична врста иновационог процеса усмереног на развој и комерцијализацију производа, који „почиње перцепцијом тржишне прилике и резултира њеном трансформацијом у комерцијално добро.“⁷⁰ Ови процеси представљају основу иновационог система, битно одређују његове перформансе генеришући снажан утицај на иновациони потенцијал ППС-а. Штавише, управљање развојем новог производа *Loch* [257] сматра кључном области управљања пословним система, стратегијом раста и макроорганизационог понашања. Док све краћи животни циклус производа и променљиве преференције потрошача намећу захтеве у погледу краћих циклуса, веће флексибилности и нижих трошкова развоја производа, као кључни фактор дугорочног опстанка и раста предузећа. Развој нових производа се перципира као високоризичан процес, имајући у виду да га карактерише ниска предвидљивост и изражена нестабилност која произилази из брзих технолошких промена, неизвесних тржишних услова и економских нестабилности.

Ради се о сложенем, вишедимензионалном процесу који се заснива на низу сложених одлука и интегрише више организационих компетенција и динамичких способности. Уједно, то је колаборативни процес који захтева интензивне крос-функционалне интеракције и поприма међуорганизацијски контекст, захтевајући ефикасне механизме координације који зависе од способности предузећа да успостави интегрисано информационо окружење, развој и одржавање јединствене базе знања и његову ефикасну дифузију итд.

Способност развоја нових производа се у ширем контексту тумачи као „интегрисани скуп способности неопходних за испоруку специфичних вредности за кориснике на којима почива конкурентност предузећа.“⁷¹ Према *Zhao* и *Chadwic* [484] то је „колективна когнитивна способност запослених да доследно и ефикасно координирају своје интеракције како би комбиновали специјализована знања у циљу стварања и комерцијализације нових производа“. За *Song* и *Su* [387] то је „дводимензионални концепт који укључује способност ефикасне и ефективне експлоатације постојећих технологија и способност истраживања нових технологија и тржишта“. У контексту овог истраживања способност развоја нових производа се тумачи као скуп специфичних компетентности предузећа, које делујући на међусобно синергичан начин стварају услове за развој и комерцијализацију нових производа на начин који осигурава висок ниво производно-економских и тржишних перформанси производа, подстичући ефикасност и ефективност процеса развоја нових производа. При чему се одредница ефективност односи на усаглашеност производа у односу на захтеве корисника и специфичне индустријске стандарде, што заједно чини квалитет производа, док се ефикасност мери у односу на ангажоване ресурсе у процесу његовог развоја и комерцијализације.

Методолошки приступ анализи утицаја имплементације PLM-а на организационе способности развоја нових производа установљен у оквиру овог истраживања утврђује:

⁷⁰ *Talbot* и др. (2007)

⁷¹ *Mahajan* и *Wind* (1988)

- конзистентну методологију способну да мапира латентне потребе ППС-а у контексту оптимизације процеса развоја нових производа;
- механизам за квантификацију утицаја специфичних функционалних аспеката PLM-а на оснаживање организационих способности за развој нових производа у контекстуалним околностима специфичним за предузеће.

У контексту наведеног, предвиђа се успостављање модела евалуације процеса развоја нових производа заснованог на принципима нормативно-контингентног приступа. Модел је развијен по узор на нормативне моделе који своју концептуалну основу проналазе тзв. *оквирима најбоље праксе*. Како би се постигла релевантност модела у односу на контекст у коме предузеће делује уводи се принцип контингентности у дефинисању референтних норми процене.

Предложени модел пружа контекст у оквиру кога предузећа могу разумети сопствене потребе за унапређењем организационих способности развоја нових производа, идентификујући потенцијална подручја и приоритете оптимизације.

Идентификоване потребе се потом мапирају са специфичним PLM функционалним подручјима користећи се принципима QFD анализе. При чему потенцијална подручја оптимизације и њима припадајући релативни приоритети представљају инпуте за HoQ матрицу и формирају сегмент ШТА (атрибути захтева), док се PLM компетенције специфичне за функционална подручја усвајају као атрибути квалитета.

Предложени QFD процес се заснива на модификацији његовог конвенционалног модела, при чему се користи теорија IT2F скупова за математичко описивање улазних података за QFD анализу, укључујући релативне приоритете атрибута захтева и лингвистичке варијабле за описивање откривених *ШТА-КАКО* релационих односа у HoQ матрици. Концепт и математички модел модификованог QFD процеса детаљно су представљени у потпоглављу 5.6.

Предложени приступ омогућава предузећима да квантификују утицај специфичних PLM функционалних подручја на оптимизацију организационих способности развоја нових производа.

У наставку је дат преглед постојећих приступа евалуацији процеса развоја нових производа; извод из резултата анализе критичних фактора успеха нових производа који су послужили као концептуална основа за мапирање специфичних перспектива организационе способности за развој нових производа; затим је представљен истраживачки приступ развоју нормативно-контингентног модела евалуације, детаљно појашњена структура модела и концепт евалуације.

7.9.1 Постојећи приступи евалуацији процеса развоја нових производа

Дати преглед постојећих приступа евалуацији процеса развоја нових производа се ослања на резултате истраживања приказаног у раду *Пузовић* и др. [335].

Један од најраније развијених модела овог типа је *New product development self-assessment* [278] развијен као генерички модел самоевалуације заснован на принципу препознавања симптома који откривају неефикасност у овим процесима и мапирању фактора који их генеришу, међутим услед недостатка детаљних и оперативних индикација примена модела захтева високу стручност евалуатора. Док је *Innovation scorecard* [81] успостављен за потребе евалуације организационе способности за управљање технолошким иновацијама кроз две димензије, прву која се односи на утврђивање да ли су успостављени процеси заиста неопходни за иновације и ниво до ког су усаглашени са најбољом праксом, и другу

која се фокусира на исходе процеса технолошких иновација и њихове импликације на пословну снагу.

Један од карактеристичних приступа евалуацији процеса развоја нових производа користи концепт зрелости, ради се о моделима који служе као алати за планирање мера за развој организационих способности на основу постигнутог нивоа зрелости у специфичној области, при чему се зрелост дефинише као „стање компетенција, степен софистицираности или способности у одређеном домену у односу на унапред дефинисан скуп критеријума.“⁷² Овакви модели дефинишу категоризације које разликују специфичне нивое зрелости, уједно прописују добро структуриране и ригидне процедуре евалуације.

Најчешће коришћен модел зрелости развијен је у области софтверског и системског инжењерства, ради се о *Capability Maturity Model Integration (CMMI)* моделу установљеном од стране *Software Engineering Institute* [367], који служи као методолошки оквир за оптимизацију процеса развоја производа. CMMI представља сет интегрисаних модела, међу којима је кључан *Capability Maturity Model for Software (SW-CMM)*, који је, иако првобитно развијен за потребе софтверског инжењерства, кроз своју еволуцију попримио универзални облик. CMMI такође укључује *Simultaneous Engineering Capability Model (SECM)* [128] и *Integrated Product Development Capability Maturity Model (IPD-CMM)* [134]. Модели интегрисани CMMI концептом садрже сет циљева и препоручених пракси којима треба тежити, а који покривају подручја управљања пројектима, управљања процесима, инжењерске процесе и процесе подршке. Интегрисани модел уједно даје методолошки оквир за процену нивоа усаглашености процеса са пројектованим циљевима и препорученим праксама.

Већи део, до сада развијених модела у овој области бави се изолованим аспектима процеса развоја производа, пример су алати који се користе за евалуацију зрелости процеса дизајна производа. Већина оваквих алата мери зрелост у контексту нивоа усаглашености са принципима симултаног инжењеринга или спремности за њихово усвајање. Пример су *SEAssessment* [66], *Practical Approach to CE (PACE)* [315], *BEenchmarking and readiness Assessment for CONcurrent engineering in construction (BEACON)* [13] алати. Алат сличне намене је и *Simultaneous Engineering GAP ANalysis (SEGAPAN)* [423], развијен као бенчмаркинг алат за анализу јаза између усвојене праксе и принципа симултаног инжењеринга, при чему ова анализа обухвата аспекте као што су комуникациона инфраструктура, коришћени алати и технике, крос-функционални тимови итд.

У употреби је још неколико модела анализе специфичних домена, тако рецимо, као подршку континуираном побољшању процеса развоја нових производа у складу са *Lean* филозофијом, Rossi и др. [352, 353] дефинишу *MyWaste* модел за евалуацију процеса са аспекта анализе отпада. Као основу за анализу отпада модел користи логику FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) концепта. Од истих аутора, долази и *MyTime* модел, дизајниран за анализу времена утрошеног на активности у развоју производа попут дизајна и тестирања, развоја спецификација и документације, координацију актера укључених у процес итд., процене које генерише могу указати на потенцијалне проблеме у раду.

Протеклих деценија долази до популаризације истраживања усмерених на идентификовање, категоризацију и валидацију најбоље праксе у развоју нових производа. Паралелно са овим истраживањима, развијају се и нормативни модели тзв. *New Product Development Best Practice*, који служе као оквир референтних тачака за овладавање најбољом праксом у развоју нових производа. Најбоља пракса се у овом контексту тумачи као „рутина или начин деловања који генерише најповољније резултате у домену развоја и

⁷² Rossi и Terzi (2017)

лансирања нових производа.“⁷³ Модели овог типа најчешће врше категоризацију пракси према специфичним областима или димензијама (табела 19), дефинишући уједно методологију која предузећима помаже да процене своје процесе, позиционирајући их најчешће у односу на карактеристичне нивое софистицираности који одговарају одређеном скупу карактеристика којима се описује стање праксе својствено датом нивоу, за сваку од разматраних димензија.

Табела 19. Постојеће категоризације димензија најбоље праксе у развоју нових производа

Димензије најбоље праксе	Студије
Стратегија; управљање портфолиом; процеси; истраживање тржишта; људски потенцијал; метрике и процена учинка	[209]
Стратегија; управљање портфолиом; процеси; истраживање тржишта; метрике и процена учинка; организациона култура и управљање пројектима; комерцијализација	[26]
Стратегија и вођство; култура и клима; планирања и селекција; структура и перформансе; комуникација и колаборација	[94]
Циљеви; контрола процеса; метрике; развој људских ресурса; контрола промена; документовање; технолошко лидерство; дизајн концепта; стратегија производа; укљученост купаца; селекција пројекта	[118]
Процеси (активности, радни токови и одлучивање); људи (обука, улоге укључене у процес развоја производа, координација процеса, моделирање процеса и организација); управљање знањем (процеси и технике за подршку управљању знањем); алати (методе и софтверска решења за подршку интеграцији података)	[351]
Организација (крос-функционално управљање, тимски приступ); процеси (управљање програмом, процеси ревизије, одлучивање); управљање знањем (интензивна комуникација, тренинг, централизована подршка); методе (конкурентни инжењеринг, технике); фокусираност на купце (циљеви и флексибилност); стратегија истраживања и развоја (глобалне истраживачко развојне активности, истраживачко развојни центри)	[408]
Тржишна оријентација; интеграција производње; управљање процесима	[312]
Процес развоја производа; алокација ресурса; посвећеност вишег менаџмента; стратешка синергија, организација, клима и састав тима	[92]

Један од најшире коришћених модела овог типа развили су *Kahn* и др. [209], модел пројектују шест димензија у којима је потребно овладати најбољом праксом у циљу успостављања ефективних система управљања развојем нових производа. За сваку од димензија на основу бенчмаркинг студије пројектован је скуп карактеристика које описују ниво софистицираности у распону од лоше или основне праксе до најбоље праксе, али и процедура дијагностиковања постојећег стања. Сагласно дефинисаним димензијама, аутори предлажу да пракса у развоју нових производа треба да буде усмерена ка проактивном истраживању тржишта, успостављању формализованих процеса, стратешкој и дугорочној оријентисаности ка развоју нових производа итд. Студија [26] даје ревидирану верзију овог модела, који додатно укључује димензије организационе културе и управљања пројектима и идентификује потребу за прилагођавањем начина на који се одређена пракса примењује у контексту неког предузећа или индустрије. Захваљујући *Delphi* студији и анкетирању стручњака из праксе аутори идентификују категорије најбољих и лоших пракси за сваку од димензија. На основу резултата процене могуће је идентификовати висок, маргинални или низак напор предузећа у развоју нових производа. Модел под називом *Product Innovation Management (PIM) scorecard* [94] омогућава предузећима да прате свој напредак у континуираном унапређивању иновационих процеса. Модел пројектује пет димензија процене и усваја социотехнички приступ, који поред алата и процедура у фокус процена ставља и понашање појединаца и тимова. *Dooley* и др. [118] пројектују модел који

⁷³ *Kahn* и др. (2012)

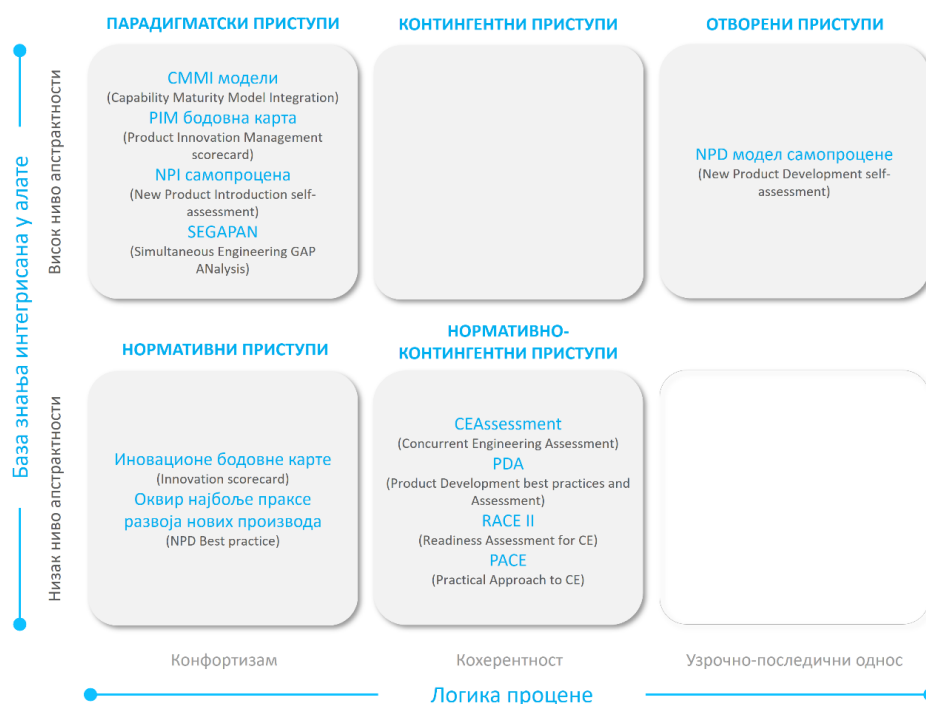
препознаје једанаест општих димензија својствених свим процесима развоја производа, такође истражују у којој мери су праксе идентификоване као најбоље прихваћене у ширем индустријском контексту. У ову категорију спада и *New Product Introduction self-assessment (NPI)* модел [408], који омогућава процену учинка у односу на најбољу праксу сагласно принципима *Hoshin-Kanri* технике, модел дефинише атрибуте најбоље праксе у процесима увођења нових производа водећи се кључним изворима пословне снаге предузећа и уводи концепт самоевалуације насупрот конвенционалном приступу ревизије. CLIMB модел [351] комбинује концепте најбоље праксе и зрелости, модел претпоставља пет нивоа зрелости процеса који се дијагностикују на основу увида у којој мери се методе, приступи и технике идентификоване као најбоља пракса примењују у специфичним областима обухваћеним оквиром.

Panizzolo и др. [312] истичу да најбоља пракса у развоју нових производа не може попримити својство универзалности, већ се мора прилагодити контекстуалним условима у којима предузеће делује. С тим у вези, предлажу нормативно-контингентни модел базиран на процени усаглашености са сетом нормативних захтева у подручју 1) интеграције производа, 2) тржишне оријентације и 3) управљања процесима, остављајући могућност да се ови захтеви прилагоде контексту у коме предузеће делује, при чему као варијабле које детерминишу процесе развоја нових производа користе стратегију иновација, сложеност производа и природу тржишних односа. Дати преглед модела не треба сматрати исцрпним за све постојеће моделе ове намене, већ он обухвата искључиво моделе блиске контексту овог истраживања.

Иако се верује да представљају снажну подршку у дијагностиковању стања процеса развоја нових производа и пружају смернице за овладавање најбољом праксом, применљивост модела заснованих на оквиру најбоље праксе се у литератури често доводи у питање. Па тако *Barczak* и *Kahn* [26] дискутују да ли се најбоља пракса у развоју производа заиста може генерализовати у различитим околностима, што је премиса од које полази већина модела овог типа, у којој мери је заиста могуће одредити праксе које су релевантне за контекст у коме предузеће делује и како ове праксе прилагодити узимајући у обзир специфичне услове у којима се примењују. *Kahn* и др. [210] сугеришу да је упитно који је стварни ниво дифузије најбољих пракси у индустрији, такође, упозоравају да се занемарује да ли су димензије процене међусобно повезане и у којој мери. Насупрот овим замеркама, оквири најбоље праксе се и даље сматрају најконсистентнијом подршком у домену дијагностиковања и оптимизације организационих способности за развој нових производа. Такође, наведене замерке не умањују релевантност оквира у контексту овог истраживања, имајући у виду домен истраживања као и контекст у коме се овај концепт примењује.

Према *Panizzolo* и др. [312], већину модела процене применљивих на процесима развоја нових производа могуће је класификовати у неколико карактеристичних приступа водећи се принципима које су успоставили *Biazzo* и *Bernardi* [35]. Ови принципи предвиђају класификацију у односу на логику процене, што укључује конформизам карактеристичан за поређења у односу на скуп постављених захтева, затим кохерентност што подразумева процену усаглашености са препорученом праксом узимајући у обзир контекст у коме се делује, при чему се претпоставља позитивна веза између ове усаглашености и нивоа перформанси, трећу категорију чине процене базиране на експлицитном моделирању узрочно-последичних односа између откривених симптома неефикасности и фактора који их узрокују. Као другу димензију категоризације, *Biazzo* и *Bernardi* [35] уводе ниво апстракције безе знања, при чему је „ниво апстрактности базе знања интегрисане у алате процене реципрочан нивоу до ког су модели у стању да искључе субјективизам“.⁷⁴

⁷⁴ *Biazzo* и *Bernardi* (2003)



Слика 49. Класификација постојећих приступа евалуацији процеса развоја нових производа [312]

Према класификацији коју дају *Panizzolo* и др. [312], већина модела испољава карактеристике парадигматског, нормативног и нормативно-контингентног приступа. Парадигматски приступи процени детектују степен усаглашености са скупом захтева који би се могли сматрати парадигмом будући да не садрже конкретне одреднице у смислу коришћених метода, приступа итд., при чему се спознаја нивоа усаглашености са референтном парадигмом ослања на крајње субјективно просуђивање аналитичара, због чега нису у стању да искључе субјективизам у процени. Са друге стране, нормативни приступи оцењују усаглашеност са низом нормативних захтева, који дефинишу конкретне параметре за поређење, због чега су најчешће конципирани као модели самоевалуације. Међутим код оваквих модела се доводи у питање релевантност референтних норми за контекст у коме предузеће делују, будући да искључују својство контингентности. Док се у случају нормативно-контингентних приступа захтеви који служе као нормативи прилагођавају у зависности од ситуационих варијабли.

7.9.2 Фактори успеха у развоју нових производа

Анализа фактора успеха у развоју нових производа у контексту спроведеног истраживања пружа концептуалну основу за дефинисање димензија организационе способности развоја нових производа. Ослања се на разматрања о захтевима управљања иновационим процесима у актуелним пословним околностима, приказаним у раду *Пузовић и др.* [332], као и на резултате анализе утицаја различитих фактора на успех нових производа, приказане у раду *Пузовић и др.* [336].

Спроведена анализа је обухватила емпиријски засноване студије које идентификују детерминанте перформанси ових процеса, при чему треба нагласити да студије које истражују улогу тзв. *меких* аспеката попут организационе културе, људских фактора или праксе генерисања идеја на перформансе ових процеса нису обухваћене овим разматрања, будући да су праксе које имплицирају ван домена овог истраживања. У наставку је дат извод резултата анализе.

Henard и Szimanski [179] категоришу факторе успеха нових производа на оне које се односе на производ, факторе везане за процесе, стратегију и тржиште, наглашавајући међу њима јединствену пропозицију вредности и иновативност производа, маркетиншку и технолошку синергију, тржишну оријентацију, крос-функционалну сарадњу итд. Према Cooper [92] за успех у развоју нових производа кључно је 1) извођење правих пројеката што укључује питања избора и планирања производа и 2) правилно извођење пројеката за шта се кључним сматра усвајање тржишно оријентисаног приступа, прелиминарне тржишно/технолошки/пословно оријентисане анализе; дефинисање метрика перформанси процеса; стратешки вођено управљање портфолиом развојних пројеката; међуфункционални тимови и ефикасна дифузија знања; спирални, итеративни модел развоја; инкорпорирање агилне филозофије у традиционалне *Stage-Gate* моделе итд. Chen и др. [76] идентификује факторе који представљају предикторе брзине развоја производа, ове факторе систематизује као карактеристике пројекта, стратегија, тим и процес, наглашавајући значај формализације, симултане реализације, интерне интеграције и учења.

Праксе које се односе на управљање тимовима за развој производа, укључујући управљање међуфункционалним интеракцијама, комуникацију и синхронизацију различитих извора знања се сматрају најзначајнијим факторима успеха у развоју нових [26, 210]. Развој производа у крос-функционалном контексту уз рано укључивање свих релевантних пословних функција се наглашава као базична детерминанта успеха, при чему многе студије [26, 92, 210], потврђују да ефикасно управљање крос-функционалним интеракцијама унапређује компетентност тимова за развој нових производа, интегрише различите перспективе у решавању сложених проблема, подстиче успостављање равнотеже између супротстављених тачака гледишта, што повећава вероватноћу успеха, позитивно утиче на време развојних циклуса и перформансе производа. Способност учења и интеграције екстерних компетенција сматра се важним предиктором иновационих перформанси предузећа, аутори наглашавају и значај механизма крос-функционалне дифузије знања, укључујући и међуорганизационе релације [92].

Већина студија у овој области препознаје формалне, добро структуриране процесе еволуције производа од иницијалне идеје до његове комерцијализације као кључни фактор ефикасности у развоју нових производа. Међутим, насупрот традиционалном секвенцијалном приступу са системом *капија одлучивања* које контролишу еволуцију производа кроз развојни процес, аутори данас заговарају мање ригидне и итеративне приступе. Упућујући на преиспитивања принципа крајње линеарног *Stage-Gate* модела, Cooper [92] указује на потребу за његовим прилагођавањем природи и обиму иновационих подухвата и нивоу укљученог ризика. Студије оријентисане на организационе аспекте развоја нових производа заговарају примену принципа симултаног инжењеринга као ефикасног механизма који је у складу са тенденцијама ка скраћивању развојних циклуса, указујући на његову способност да подржи интегрисани приступ решавању проблема и усаглашавање карактеристика производа, производних потенцијала, захтева одрживости.

Активно укључивање купаца у процесе развоја производа доприноси усаглашености производа са специфичним преференцијама потрошача, поспешујући комерцијалну одрживост производа. Указујући на импликације које интеграција купаца може имати на процесе развоја нових производа Chang и Taylor [74] наводе бржи пласман на тржиште, боље финансијске перформансе, укључујући и допринос успешнијој комерцијализацији производа, литература такође наглашава лакшу спознају тржишних могућности, антиципирање будућих потреба и проблема купаца, итд. Ослањајући се на емпиријска истраживања, аутори Chang и Taylor [74] тврде да дефиниције производа засноване на темељном истраживању тржишта, прелиминарним техно-економским анализама гарантују комерцијалну одрживост производа.

Истраживања такође доводе у везу ефикасну интеграцију ланца снабдевања са иновационим перформансама предузећа [384]. При чему се акценат ставља на правилан избор добављача и развој механизма за трансфер знања и колаборативне компетенције у циљу оснаживања организационих способности предузећа за ефикасну интеграцију добављача у процесе развоја нових производа. Ово омогућава брже стицање знања и инкорпорацију нових технологија уз мању изложеност технолошким ризицима, захваљујући лакшем приступу специјализованим компетенцијама добављача, што је нарочито важно у индустријским контекстима које карактеришу висок ниво технолошке неизвесности. Налази из литературе сугеришу да је за максимизирање вредности генерисане улагањем у развој нових производа кључно системско управљање портфолиом развојних пројеката на основу формално дефинисаних политика и процедура за постизање оптималне комбинације пројеката у односу на расположиве ресурсе и стратешке приоритете предузећа [233]. Студије идентификују и позитиван однос између укључивања праксе инжењеринга трошкова од раних фаза развоја производа и ефективности ових процеса мерене у односу на обим продаје и профитне марже [92].

Потреба за брзом реакцијом у односу на промене у захтевима различитих интерних група или могућностима њиховог испуњења, чини успостављање системског, интердисциплинарног процеса идентификовања захтева за променама, ревизије и валидације, укључујући и њихову координацију кроз различите домене у глобално дистрибуираном ланцу вредности важним фактором успеха у тренутним индустријским контекстима. Овоме треба додати и способност прилагођавања специфичним преференцијама појединачног потрошача и у складу са тим испоруку јединствене пропозиције вредности под економски прихватљивим условима.

Такође, усаглашеност са регулаторним стандардима у области заштите животне средине, одговорна употреба ресурса, укључујући и друштвене и економске аспекте одрживости морају бити део стратешких опредељења предузећа данашњице, што имплицира потребу за интеграцијом принципа одрживости од раних фаза инжењеринга производа и процеса. При чему „развој производа оријентисан на одрживост тежи елиминисању неефикасности везаних за атрибуте производа, дизајн и производне процесе што резултира побољшаним квалитетом производа или нижим ценама, генеришући већу вредност за кориснике.“⁷⁵

7.9.3 Нормативно-контингентни модел евалуације процеса развоја нових производа

Као методолошка основа за мапирање латентних потреба ППС-а у контексту оптимизације процеса развоја нових производа установљен је нормативно-контингентни модел евалуације, интегрисан са АНР и QFD методама развијеним у IT2F окружењу. Модел приказан у овој дисертацији, као и студија случаја представљена у потпоглављу 8.6, су резултат истраживања публикованог кроз рад *Пузовић* и др. [335].

Предложени модел пружа контекст у оквиру кога предузећа могу разумети сопствене потребе за унапређењем организационих способности развоја нових производа, идентификујући потенцијална подручја и приоритете оптимизације. Модел оцењује усаглашеност процеса развоја нових производа са низом нормативних захтева, при чему следи принцип контингентности у дефинисању захтева који служе као нормативи у процени. Развијен је према узору на нормативне моделе који служе као оквир референтних тачака за овладавање добром праксом у развоју нових производа, тзв. *оквири најбоље праксе*. Наиме, у развоју модела се полази од премисе да је организациона способност развоја нових производа акумулирана dobrим праксама. Истраживање које су спровели

⁷⁵ *Claudy* и др. (2016)

Marzi и др. [274] поткрепљује претпоставку да је усаглашеност процеса развоја нових производа са добрим праксама управљања значајан предиктор иновационих способности предузећа. Кроз своје истраживање *Markham* и *Lee* [269] потврђују да избор управљачких и инжењерских пракси у развоју производа детерминише варијабле ефикасности (време и трошкови) и ефективности ових процеса (квалитет и иновативност). У прилог овој претпоставци говори истраживање *Knudsen* и др. [233], које показује да су компаније које остварују високе перформансе у развоју нових производа биле склоније преузимању и примени пракси које се декларишу као најбоље у датој области.

Оквири најбоље праксе се заснивају на идентификовању, класификацији и верификацији приступа, метода и активности који се сматрају примерима добре праксе за постизање изврности у процесима развоја нових производа. Овакви оквири заправо пружају алате уз помоћ којих предузећа могу оценити сопствене процесе користећи најбољу праксу као референтне тачке. Међутим, треба нагласити да ови оквири не пружају оперативне смернице за спровођење програма побољшања, као ни референте метрике учинка. Како *Chan* [69] истиче, свако предузеће ће користити специфичне метрике у зависности од индустријског контекста и циљева.

Појам најбоље праксе се у контексту овог истраживања тумачи као „скуп приступа, метода или активности који су се показали као ефикасни у постизању жељених перформанси у развоју нових производа.“⁷⁶ Другим речима, као рутине које имају потенцијал да генеришу већу ефикасност и ефективност у односу на друге познате начине деловања. Овакве праксе се углавном детектују на основу бенчмаркинг студија, анализа критичних фактора успеха, панела стручњака, статистичких истраживања која анализирају утицај различитих карактеристика ових процеса на варијабле њихове ефикасности и ефективности итд.

Имајући у виду истраживачки контекст и област примене, који су појашњени у претходним деловима, развијена је структура модела, заједно са оперативним мерама. Модел идентификује специфичне перспективе организационе способности за развој нових производа, чијом се оптимизацијом осигурава развој и дугорочна одрживост иновационих потенцијала предузећа. Ова систематизација произилази из анализе фактора успеха у развоју нових производа, при чему су у разматрање узети фактори за које, према постојећој литератури, постоје индиције о позитивној корелацији са специфичним PLM способностима. Као резултат идентификовано је укупно 16 перспектива (слика 50), ове перспективе се усвајају као димензије процене и чине први ниво структуре модела.

Несумњиво значајан утицај на успех у развоју нових производа имају фактори које *Helfat* и *Peteraf* [178], сагласно теорији заснованој на ресурсима, сматрају позадинским ресурсима, међу које убрајају организациону културу, климу, подршку менаџмента, лидерство итд. укључујући иновативни начин размишљања, стратешку оријентисаност према развоју производа, склоност ка ризицима, посвећеност чланова тима итд. Ови фактори стварају окружење подршке за развој нових производа, њихов утицај често може бити снажнији у односу на методе, технологије или процедуре које се примењују. Иако постоје одређене индиције да имплементација PLM-а може утицати на оснаживање ових ресурса, јасно је да се овај утицај остварује у синергији са другим факторима попут социо-економских, због чега се механизми њиховог деловања не могу јасно перципирати, још теже корелирати са појединачним функционалним подручјима PLM-а, те стога праксе које имплицирају нису обухваћене моделом. На другом нивоу модел мапира технике, приступе, активности итд. који су у литератури верификовани као стандарди најбоље праксе у домену идентификованих димензија, а који се у контексту модела тумаче као потенцијална подручја побољшања. У основи примењеног истраживачког приступа је преглед студија

⁷⁶ *Kahn* и др. (2012)

које испитују утицај различитих управљачких и инжењерских пракси на перформансе процеса развоја нових производа.



Слика 50. Структура модела евалуације процеса развоја нових производа [335]

Осим на сазнања верификована у литератури, развој модела се ослања на мишљења стручњака, чији је допринос формулисању модела генерисан кроз панел који је укључио представнике академске заједнице у релевантним научним областима. Циљ панела је да се потврди релевантност идентификованих пракси у односу на контекст истраживања и провери комплетност и јасноћа модела.



Слика 51. Анализа утицаја PLM-а на организационе способности развоја производа [335]

Важно је напоменути да циљ истраживања није успостављање холистичког оквира, који пружа свеобухватну и потпуну карактеризацију добрих пракси у развоју нових производа. Такође, намена модела није утврђивање развојног статуса организације у овладавању специфичним управљачким и инжењерским праксама у свим релевантним доменима, које воде ка извршним процесима развоја нових производа. Наиме, имајући у виду контекст истраживања, модел је усмерен искључиво на праксе чија имплементација може бити подржана кроз усвајање PLM приступа. На основу теоријских разматрања доступних у литератури изведене су карактеризације за праксе обухваћене моделом (слика 52), које служе као нормативи у процени, коначна структура модела укључује 16 димензија процене

са укупно идентификованих 26 пракси и представља резултат истраживања приказаног у публикацији *Пузовић* и др. [335]. У наставку је детаљније појашњен концепт евалуације предвиђен моделом (слика 51).

Модел је осмишљен као упитник за самоевалуацију, кроз који се процењује ниво усаглашености постојећих радних рутина предузећа у односу на референтне праксе специфициране моделом. При чему је могуће прилагођавање упитника према потребама предузећа, узимајући у обзир природу процеса развоја нових производа и друге ситуационе варијабле, одређене праксе се могу оценити као нерелевантне за дато предузеће и искључити из даљег процеса евалуације како би се он поједноставио. За потребе евалуације уводи се лингвистичка скала приказана у табели 20. Процес евалуације се ослања на перцепције представника персонализованог знања, које се често заснивају на приближном резонувању, непрецизним или непотпуним информацијама, због чега најчешће нису у стању да их прецизно артикулишу, директно или аналитички опишу, стога се лингвистички изражене преференције у моделу третирају као нејасне и као такве се математички моделују уз помоћ IT2TrF бројева сагласно предложеној скали.

Табела 20. Лингвистичке варијабле и одговарајући IT2TrF бројеви за евалуацију процеса развоја нових производа

Лингвистичке варијабле	IT2TrF бројеви
Веома низак	(0,0,0,0.1;1,1) (0,0,0,0.05;0.9,0.9)
Низак	(0,0.1,0.15,0.3;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)
Средње низак	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
Средњи	(0.3,0.5;0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
Средње висок	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
Висок	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)
Веома висок	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)

На основу резултата евалуације могуће је дијагностификовати слабости у процесима развоја нових производа и утврдити потенцијал унапређења у домену специфичних пракси. Вредност која упућује на потенцијал побољшања се у предложеном моделу изводи као дистанца између IT2TrF вредности које одговарају процењеном нивоу усаглашености са стандардима најбоље праксе и највишем нивоу софистицираности на скали евалуације.

Дијагностичке процедуре заступљене у већини модела овог типа полазе од претпоставке универзалности најбољих пракси, међутим како *Nicholas* и др. [300] сугеришу, не постоји један, најбољи начин за постизање изврности у развоју нових производа. Насупрот крајње сугестивним оквирима најбоље праксе, актуелна литература је склонија ставу да ефективност примењене праксе зависи од индустријског контекста, сложености производа и организационог окружења, *Echeveste* и др. [125] иду и даље тврдећи да подобност праксе зависи од културних аспеката и карактеристика економског система. *Ahmad* и др. [2] сматрају да избор пракси у развоју производа треба да буде одређен карактеристикама пројекта. Примера ради, *Holahan* и др. [185] тврде да развој нових производа у контексту радикалних иновација захтева мање формализоване процесе, те да ови процеси знатно варирају у зависности од природе иновације. Формализација процеса се не сматра нужно ефикасном у свим околностима, нарочито када је реч о контекстима радикалних иновација или неизвесним околностима, када се модели развоја производа морају кретати ка мање формалним и агилнијим приступима и како *Marzi* и др. [274] закључују, морају одступити од крајње линеарне форме прилагођавајући се потребама појединачних пројеката. Такође, контексти карактеристични за мала и средња предузећа као што су ограничени ресурси, бржи процес одлучивања, већи степен крос-функционалне кохезије и мањи отпор према променама, индукују битно другачије захтеве у развоју нових производа.

Chang и *Taylor* [74] наглашавају да су се праксе укључивања корисника у процесе развоја производа показале делотворнијим у нискотехнолошким индустријама и мањим предузећима, алудирајући на лакше интегрисање знања купаца у активности развоја производа у односу на сложене индустријске контексте, такође закључују да су ове праксе релевантније за контексте које карактеришу изражене тржишне флукуације. Што су само неки од примера који говоре у прилог тези да је најбоља пракса у развоју нових производа заправо контекстуално питање, те да праксе декларисане као најбоље нису нужно и најприкладнији приступ у свим околностима, што значи да њихов релативни значај може варирати у зависности од контекста. Треба узети у обзир и да су закључци о утицају разматраних пракси на перформансе процеса развоја производа најчешће изведени из студија случаја појединачних предузећа и као такви се не могу генерализовати, већ је неопходно разматрати их у контексту специфичном за предузеће. Такође, утицај ових пракси на појединачне индикаторе успеха као што су време развојног циклуса, трошкови, перформансе производа, профитабилност итд. може бити различит, због чега је неопходно посматрати овај утицај на укупне перформансе процеса развоја производа.

Водећи се наведеним разматрањима, модел следи контингентни приступ у дефинисању норматива процене, при чему уводи тежинске коефицијенте који одражавају релативни значај референтних пракси, разматрајући њихову релевантност у односу на контекст специфичан за предузеће [335]. Према узору на концепт који су изложили *Panizzolo* и др. [312], према коме стратегија иновација усмерава процесе развоја нових производа, релевантност одређене праксе се у предложеном моделу оцењује на основу њене кохерентности у односу на стратешко опредељење предузећа у развоју нових производа. Које се огледа кроз релативни приоритет који предузеће у развоју нових производа додељује циљевима: краће време развојног циклуса; већи квалитет производа; нижи трошкови и већи ниво иновативности развијених решења.

Оцена релевантности референтних пракси за предузеће, према моделу приказаном у раду *Пузовић* и др. [335] укључује:

- **Приоритизацију циљева у развоју нових производа.** Процес приоритизације се заснива на IT2FАНР методи, према моделу представљеном у потпоглављу 5.2. Изведени релативни приоритети одражавају стратешки избор организације у развоју нових производа и представљају инпут за наредни корак анализе.
- **Евалуацију утицаја пракси на циљеве у развоју нових производа у контекстуалним околностима специфичним за предузеће,** при чему су ове околности одређене индустријским контекстом, величином предузећа, сложености производа, производним стратегијама, утицајима из окружења итд. Процес евалуације је заснован QFD методи у IT2F окружењу. Предложени QFD процес корелира референтне праксе обухваћене нормативно-контингентним моделом евалуације (слика 52) (атрибути квалитета) са циљевима у развоју нових производа (атрибути захтева), процењујући снагу утицаја појединачних пракси на подстицање разматраних циљева.

Изведене релативне тежине указују на релевантност пракси у односу на контекст специфичан за предузеће. Множењем ових тежина са вредностима које упућују на потенцијал унапређења у домену специфичне праксе, утврђеним у претходним корацима процеса евалуације, дефинише се приоритет оптимизације за дати домен. На овај начин модел мапира специфичне потребе ППС-а у контексту унапређења организационих способности развоја нових производа у односу на које треба ускладити модел развоја PLM компетенција како би се на ефикасан начин подржала PLM иницијатива усмерена на развој иновационих потенцијала предузећа. Према претходно појашњеном приступу, добијени резултати представљају инпут за наредни QFD процес за квантификацију утицаја PLM функционалних подручја на организационе способности развоја нових производа.

		Степен усаглашености
P_1 Интерна интеграција		
P_1.1	Развој производа је успостављен као крос-функционални процес који интегрише све релевантне функционалне области предузећа (производни инжењеринг, производња, набавка, сервисни инжењеринг итд.); развијени су механизми за координацију међуфункционалних интеракција који подржавају ефикасан трансфер знања, размену и континуирану синхронизацију информација, отворену и интерактивну комуникацију у процесима развоја производа	
P_2 Структурираност процеса		
P_2.1	Развој нових производа је структуриран процес сагласно потребном степену стандардизације и контроле, са јасно дефинисаним задацима, одговорностима и токовима информација и развијеним механизмима за планирање, документовање и праћење статуса корака у развоју производа	
P_3 Укључивање перспективе купаца		
P_3.1	Одлуке у раним фазама развоја производа су засноване на знању о потребама и преференцијама купаца, антиципирању њихових будућих потреба и проблема; повратне информације од купаца се континуирано прикупљају и интегришу у процесе развоја производа	
P_3.2	Купци су активно укључени у процес развоја производа током дефинисања захтева и спецификација производа, дизајна и тестирања производа	
P_4 Интеграција ланца снабдевања		
P_4.1	Процес избора добављача је вођен формално дефинисаним правилима и процедурама и укључује континуиране евалуације технолошких компетенција, знања и других ресурса добављача у односу на потребе предузећа	
P_4.2	Добављачи су интегрисани у свим аспектима развоја производа, још од раних фаза процеса; постоје разрађени механизми међуорганизацијске координације, који омогућавају конзистентну размену ажурних информација, трансфер знања, сарадњу и синхронизацију процеса са партнерима у ланцу снабдевања	
P_4.3	Остварују се директне интервенције у активности добављача, у циљу побољшања њихових вештина и учинка	
P_5 Управљање знањем		
P_5.1	Процес развоја производа интегрише и користи различите, формалне изворе знања, који се континуирано ревидирају; претходно акумулирано експлицитно знање о производу се активно користи у свим аспектима развоја производа	
P_5.2	Постоје разрађени механизми за идентификовање и ефикасно асимилирање потенцијално релевантног знања из екстерних извора и његово интегрисање у процесе развоја производа (реконфигурисање и експлоатација у циљу комерцијалне примене знања)	

		Степен усаглашености
P_6 Прелиминарне анализе		
P_6.1	Одлуке у раним фазама развоја производа се заснивају на резултатима прелиминарних анализа техничке и оперативне изводљивости, пословне и финансијске анализе	
P_6.2	Примењује се експериментални приступ у развоју потенцијалних решења, заснован на раном и брзом генерисању знања о утицају донетих одлука на карактеристике (перформансе) производа или производне системе	
P_7 Проактивно управљање трошковима		
P_7.1	Успостављен је приступ проактивног планирања и оптимизације трошкова животног циклуса производа заснован на примени пракси, принципа и алата инжењеринга трошкова од најранијих фаза развоја производа	
P_8 Планирање производа		
P_8.1	Успостављен је формални и системски процес планирања и континуираног праћења перформанси портфолија пројеката развоја нових производа са фокусом на максимизирање вредности портфолија и постизање његове уравнотежености у односу на расположиве ресурсе и стратешке приоритете предузећа	
P_8.2	Успостављен је систематски процес идентификовања, анализе, приоритизације, верификације и контроле имплементације захтева у вези са производом; захтеви су повезани са процесима њихове имплементације и интегрисани у све аспекте развоја производа	
P_9 Управљање променама		
P_9.1	Успостављен је системски интердисциплинарни процес прегледања и формалног одобравања захтева за променама, издавања налога, ревизије, валидације и документовања промена; успостављени су ефикасни механизми који омогућавају координацију промена кроз различите домене, следљивост промена и интегрисање свих релевантних аспеката процеса дуж ланца вредности, рано укључивање свих заинтересованих страна	
P_9.2	Успостављени су и ефикасно се примењују механизми за свеобухватну анализу утицаја промена на ефикасност пројекта, перформансе производа, производне системе, испуњеност захтева, анализу утицаја на нивоу портфолија, ланца снабдевања, технолошке изводљивост и зависности од ресурса, финансијских и пословних импликација итд.	
P_10 Перспектива читавог животног циклуса производа		
P_10.1	Производи се развијају узимајући у обзир захтеве за оптимизацијом перформанси у свим фазама животног циклуса, тако што се још од раних корака процеса инкорпорирају питања везана за производност, трошкове, усаглашеност са индустријским стандардима, употребу материјала, монтажу, коришћење, могућност одржавања и тестирања, погодност одлагања итд. (примена DFM, DFA и других DFX принципа)	
P_10.2	Планирање и оптимизација производних процеса, производног окружења и система подршке (процедуре сервисирања, поспродајна подршка) се успоставља од раних фаза развоја производа	

		Степен усаглашености
P_11 Континуирана верификација и валидација производа		
P_11.1	Испитивања перформанси производа у смислу физичких, перцептивних, функционалних и других карактеристика се врше у свим фазама развоја производа у циљу континуираних верификација техничке изводљивости, усаглашености са индустријским стандардима, валидације испуњености захтева и комерцијалне одрживости производа	
P_12 Прилагодљивост производа		
P_12.1	Примењују се одговарајуће методе, технологије, алати и процедуре за успостављање модела развоја производа који подржава концепт масовног прилагођавања (планирање, развој концепта и пројектовање производа модуларне структуре, заједничких платформи и модула производа, адаптивних производа итд.)	
P_12.2	Успостављени су ефективни механизми за подршку прилагођавању производа (функционална, техничка и физичка димензија) и оптимизацији процеса производње прилагођених производа	
P_12.3	Успостављени су ефективни механизми који обезбеђују захтевани ниво интеграције купаца у процесе реализације прилагођених производа (спецификација карактеристика прилагођеног производа, дизајн производа)	
P_13 Интеграција принципа одрживости		
P_13.1	Успостављени су и ефективно се примењују процеси и алати који подржавају интеграцију принципа одрживости од раних фаза развоја нових производа - алати за одрживи дизајн производа, избор материјала и делова, одрживост производних процеса, одрживу употребу и еколошки прихватљиво повлачења производа, ревизију одрживости ланца снабдевања	
P_14 Управљање квалитетом		
P_14.1	Процеси планирања, контроле и континуираног унапређења квалитета производа и производних процеса се успостављају још од раних фаза развоја производа	
P_15 Системска перспектива		
P_15.1	Успостављени су ефективни организациони и технолошки механизми интеграције који обезбеђују контролу еволуције производа у системској перспективи (развој производа у системској перспективи)	
P_16 Поновна употреба претходно развијених решења		
P_16.1	Успостављени су ефективни механизми који подржавају поновну употребу претходно потврђених компоненти или докумената у инжењерингу производа	

Слика 52. Модел евалуације процеса развоја нових производа [335]

7.10 PLM функционални модел

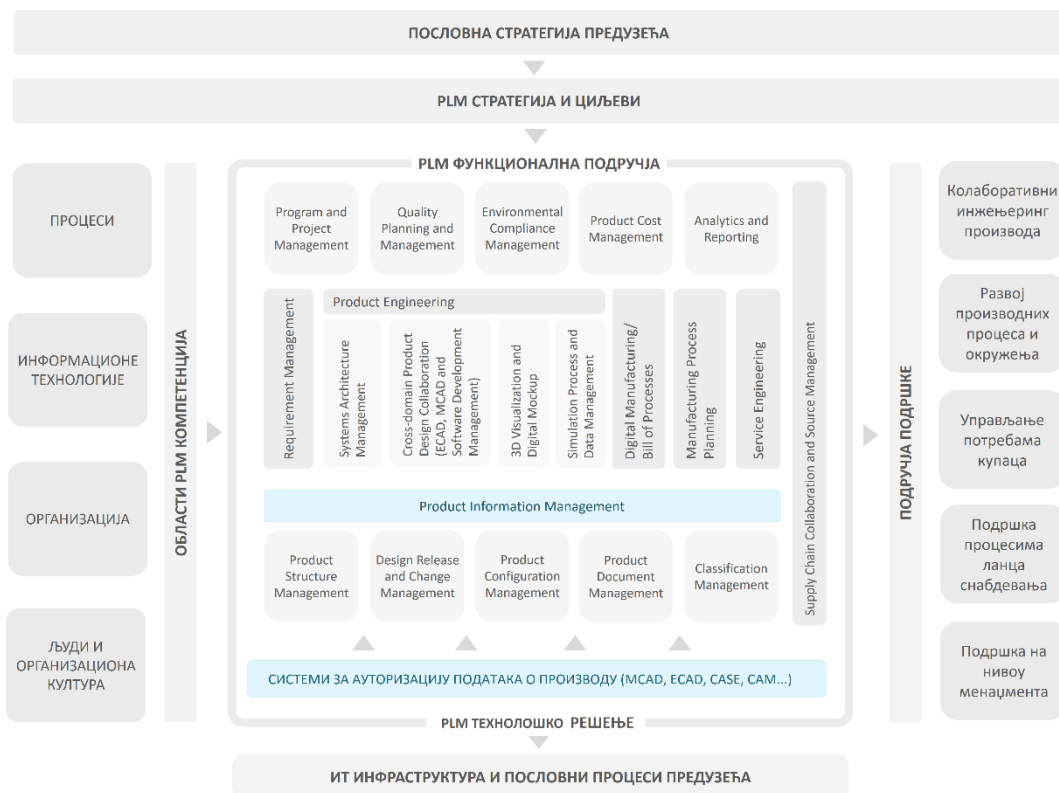
Иако су концептуализација PLM-а и технолошки контекст ове парадигме исцрпно анализиране теме у академској литератури, још увек постоје одређене недоумице у домену дефинисања укупног функционалног опсега PLM-а, што је последица сложености али и прилично хетерогених приступа у његовом дефинисању. Уз то, његова концептуална еволуција, нови технолошки концепти и еволуција производа у системе паметних повезаних производа, условљавају константни развој PLM технологија, ширећи функционални домен PLM-а, што захтева ревизију постојећих систематизација. За потребе предложеног методолошког приступа успостављен је референтни PLM функционални модел који доприноси успостављању теоријског опсега PLM-а, односно дефинисању његовог функционалног домена. Модел приказан у овој дисертацији представља проширење модела конципираног у оквиру истраживања публикованог кроз рад *Пузовић* и др. [335].

Модел пружа свеобухватан структуриран преглед PLM функционалних подручја и њихових међусобних односа, при чему се у контексту овог истраживања, PLM функционална подручја тумаче као делимични аспекти холистичког PLM-а, који интегрисани у кохерентно и софтверски подржано PLM окружење обезбеђују потпуну и доследну примену овог концепта. Додатно, ови аспекти се посматрају као подручја развоја PLM компетенција.

Модел је настао као резултат систематизације пословних домена који морају бити интегрисани и ефикасно координисани кроз PLM како би се обезбедио интегрисан, холистички приступ управљању животним циклусом производа. Основа ове анализе је разумевање животног циклуса производа из инжењерски оријентисане перспективе, у том контексту, користи се референтни модел (слика 3) који је установљен за потребе овог истраживања како би се увело јединствено разумевање овог појма, ослањајући се на његове постојеће концептуализације. Модел идентификује генеричку структуру фаза и процеса који морају бити обухваћени кроз PLM технолошко решење како би се осигурао интегрисани, холистички приступ управљању животним циклусом производа.

У разради модела се полази од постојећих тумачења функционалног опсега PLM-а доступних у литератури, узимајући у обзир тренутни статус његове концептуалне и технолошке еволуције и функционалне могућности PLM решења доступних на тржишту. Модел се заправо ослања на тумачење које даје *Eigner* [129], према коме функционални опсег PLM-а покрива области управљања информацијама о производу; колаборативног инжењеринга; развоја производње и производног окружења; управљања потребама купаца; подршке процесима ланца снабдевања; подршке на менаџерском нивоу. Такође, узети су у обзир и захтеви за успостављање PLM-а у условима еволуције производа у сложене системе повезаних производа који укључују све више софтверских и електронских компоненти и еволуције процеса њиховог развоја у интердисциплинарни дигитални инжењеринг, који се према *Eigner* [129] односе на успостављање интердисциплинарног, холистичког приступа управљању информацијама, успостављање интердисциплинарног приступа интеграцији и подршку инжењерским приступима заснованим на моделима.

Предложени модел (слика 53) је генеричког карактера због чега је погодан за разумевање главних компоненти и односа неопходних за успостављање PLM-а у различитим индустријским системима, сходно томе може служити као референтни оквир за дефинисање опсега PLM стратегије предузећа.



Слика 53. PLM функционални модел

Модел пројектује идеалистичку визију PLM-а у којој су различите технологије и концепти заступљени у животном циклусу производа међусобно интегрисани, обједињујући информације, процесе и системе који прожимају животни циклус производа, на начин који омогућава колаборативни приступ у дефинисању производа и процеса, производњи, одржавању или одлагању производа.

Чињеница да PLM процеси не подлежу неком одређеном стандарду, имплицира да функционалне могућности PLM система нису стандардизоване, њихова конфигурација се прилагођава специфичним потребама и пословним околностима предузећа укључујући и врсту индустрије, производну стратегију итд. С тим у вези, намера модела је да укаже на укупни функционални домен PLM-а, упућујући на могућност прилагођавања референтног модела за његову примену у различитим контекстима.

Модел структурира функционални опсег PLM-а у четири главне области. Као окосницу PLM-а, модел дефинише домен управљања информацијама о производу са низом функционалности за креирање и управљање информацијама о дефиницији производа и сродним интелектуалним ресурсима (*Product Structure Management*, *Product Configuration Management*, *Product Document Management* итд.), које чине основу већине комерцијалних PLM решења. Надоградњу овог слоја чине пет области подржаних низом функционално фокусираних могућности за испуњавање специфичних потреба у домену управљања производом у различитим фазама животног циклуса од планирања и инжењеринга производа, преко производње и одржавања (*Requirement Management*, *Product Engineering*, *Manufacturing Process Planning* итд.). Модел укључује унакрсне елементе (*Program and Project Management*, *Product Cost Management*, *Analytics and Reporting* итд.) који пружају подршку процесима развоја и реализације производа кроз различите фазе животног циклуса производа. Са бочне стране модела приказан је функционални домен међуорганизацијске

колаборације подржан алатима и системима за дељење информација и заједнички рад са партнерима у ланцу снабдевања (*Supply Chain Collaboration and Source Management*). У својој основи, PLM подржава управљање подацима генерисаним у системима за стварање, анализу, симулацију и документовање информација о дефиницији производа и процеса, ови алати се појављују и консолидују као саставни део укупног PLM софтверског окружења, због чега су дати у основи графичког приказа модела, али се не сматрају саставним делом PLM функционалног опсега.

Поред структурирања PLM функционалних подручја, модел указује на неопходност постизања интероперабилности на неколико нивоа:

- у односу на пословну стратегију на корпоративном нивоу, пословне процесе и ИТ инфраструктуру предузећа;
- кључне димензије развоја PLM компетенција за доследну примену PLM-а, укључујући процесе, информационе технологије, организацију и људе и организациону културу.

Идентификовани функционални аспекти PLM-а су концизно представљени у наставку, дати описи су формиран на основу анализе која је укључила преглед релевантне литературе и анализу функционалности решења која су на тржишту доступна под акронимом PLM.

Product Structure Management

Управљање структурама производа за које се у пракси користи термин BOM, омогућава документовање, преглед и праћење ставки, склопова и делова који чине структуру производа, подржавајући следљивост и асоцијативност оваквих информација кроз процесе у ланцу вредности. Савремени BOM алати интегрисани у PLM помажу предузећима да реализују холистичку дефиницију производа која одражава све компоненте производа (механичке, електроничке, софтвер) синхронизујући више извора информација.

Такође, пружају могућност динамичког генерисања асоцијативних структура (xBOM) које одражавају контекст прилагођен потребама различитих дисциплина, укључујући eBOM (хијерархијски организован приказ склопова, подсклопова и компоненти производа који одражава начин на који је производ пројектован), mBOM (приказ компоненти и материјала који улазе у састав готовог производа, укључујући детаље производних процеса, радне инструкције и процедуре монтаже на начин прилагођен потребама планирања производње, управљања залихама итд.) и sBOM (листа делова и упутстава за одржавање производа).

Одржавајући конзистентност, следљиве везе и синхронизацију информација, асоцијативне xBOM структуре одражавају инжењерске промене у дефиницији производа, пружајући јединствен извор истине не само за инжењеринг већ и за остале процесе производно у ланцу вредности. На овај начин, PLM заправо затвара петљу између инжењеринга, производње, ланаца снабдевања и сервисног инжењерства. Овакав приступ олакшава управљање варијабилношћу производа, омогућава већу ефикасност производних процеса, смањење губитака у производњи уз оптимизацију ресурса, редуковање ризика од неусаглашености, обезбеђује рану видљивост производа избегавајући касно откривање грешака, лакше управљање и повећану поновну употребу компоненти итд.

Product Configuration Management

Управљање конфигурацијама производа (енг. *Product Configuration Management*) представља „холистички приступ за успостављање и одржавање конзистентности перформанси производа, његових физичких и функционалних карактеристика у односу на дефинисане захтеве, дизајн и оперативне информације.“⁷⁷ При чему се конфигурације могу

⁷⁷ Arnold и др. (2011)

односити на различите варијације основног производа, верзије производа изведене према специфичним захтевима купаца (одабиром доступних функционалности или конфигурабилних јединица производа у случају модуларних производа) и сл.

Product Configuration Management решења у склопу PLM-а подржавају целокупан процес управљања конфигурацијама укључујући идентификовање конфигурације: документовање њених физичких и функционалних карактеристика и дефинисање структуре (нпр. избор конфигурационих јединица, регулишући њихову међусобну компатибилност); праћење промена свих компоненти конфигурације; процену и извештавање о статусу захтева и имплементације промена; формалну верификацију конфигурације. Ефикасно управљање конфигурацијама подржава стратегију тржишног наступа засновану на високој варијабилности производа и производне стратегије попут АТО (*Assemble To Order*), СТО (*Configure To Order*), ЕТО (*Engineer To Order*) итд., успешно превазилазећи проблеме који их прате, попут нерационалног управљања залихама, ниске оперативне ефикасности, ризика од неусаглашености, потенцијалних грешака у производњи, уз повећане трошкове квалитета.

Неке од кључних могућности које *Product Configuration Management* решења интегрисана у PLM доносе укључују ефикасно документовање и верификацију конфигурација и одржавање конзистентних дефиниција за сваку специфичну конфигурацију производа. Координирани процеси промена у компонентама конфигурације кроз различите домене и њихова следљивост уз контролисано уклањање застарелих карактеристика и друге могућности, осигуравају рад са валидним конфигурацијама за све процесе и системе низводно у ланцу вредности. Такође дозвољавају одабир логике која дефинише правила конфигурације за дефинисање варијантног садржаја попут BOM-а, 3D визуелизација, САД података итд. и дефинисање правила за регулисање компатибилности између функција и компоненти конфигурације.

Интегрисање *Product Configuration Management* решења у PLM доприноси бољем управљању варијабилности производа, нижим трошковима животног циклуса производа, ефикаснијем одговору на специфичне захтеве корисника уз оптимизацију трошкова инжењеринга, редукцију неусаглашености, пружа могућност ране валидације за предикцију грешака у каснијим фазама развоја или производњи.

Design Release and Change Management

Решења за организацију, имплементацију и документовање промена у дефиницији производа (енг. *Design Release and Change Management*), интегрисана у PLM систем, омогућавају да се савлада сложеност и оптимизује трајање циклуса промене, обухватајући дефинисање, ревизију и формално одобравање захтева за променама (енг. *Engineering Change Requirement - ECR*), креирање налога за променама (енг. *Engineering Change Order - ECO*), ревизију и валидацију промена пре објављивања, саопштавање промена дуж међуорганизацијског ланца вредности.

PLM омогућава интегрисање процеса промене са записима о дефиницији производа и пружа холистички приступ управљању променама са анализом утицаја, успостављањем конзистентног, интердисциплинарног процеса, који обједињује све релевантне аспекте промена дуж целог ланца вредности, омогућавајући синхронизацију између различитих домена, рано укључивање свих заинтересованих страна, координисану ревизију и валидацију промена кроз различите домене итд.

Такође пружа могућност различитим функционалним групама као што су инжењеринг, управљање квалитетом, производња, снабдевање укључујући и партнере у ланцу снабдевања да ефикасно сарађују у креирању, прегледу и одобравању дизајна, прате статус

промене, и контролишу њен утицај на све релевантне домене. Захваљујући асоцијативним структурама, PLM омогућава аутоматско објављивање ажурних информација о насталим променама и синхронизацију информација са осталим PLM процесима и пословним системима, обезбеђујући потпуну следљивост промена дуж читавог ланца вредности.

Classification Management

Управљање класификацијама (енг. *Classification Management*) омогућава организовање и претраживање интелектуалне имовине предузећа повезане са производом уз могућност коришћења различитих система класификације у зависности од пословних захтева и конфигурабилних класификационих шема прилагођених потребама специфичних функционалних група, укључујући и могућност аутоматског именовања и прецизне и ефикасне претраге према одабраним параметрима. *Classification Management* алати омогућавају лакше проналажење и референцирање постојећих делова и докумената који задовољавају потребе инжењеринга, краће процесе развоја, већи квалитет и поузданост захваљујући поновној употреби компоненти и докумената усклађених са индустријским стандардима, смањене трошкове залиха, већу оперативну ефикасност избегавањем дуплиране техничке документације итд.

Product Document Management

Управљање документима (енг. *Product Document Management*) обезбеђује организовање, интегрисано управљање и централизовану контролу докумената и технолошких публикација у PLM окружењу, попут САХ модела, спецификација, процедура тестирања и других записа, на начин који, између осталог, обезбеђује:

- „контролисан и сигуран приступ веродостојној верзији документа свим заинтересованим странама у животном циклусу производа укључујући и партнере у ланцу снабдевања;
- стандардизацију и аутоматизацију процеса прегледа, одобравања, дистрибуције и архивирања докумената у одговарајућим форматима;
- одржавање следљивости и валидности информација о производу (нпр. повезивање докумената са налозима за инжењерске промене у циљу њихове синхронизације са изменама у дефиницији производа и процеса итд.);
- мапирање структуралних односа између докумената, њихово повезивање према одређеним контекстима или критеријумима.“⁷⁸

Requirement Management

Управљање захтевима (енг. *Requirement Management*) као саставни део PLM функционалног опсега осигурава интегрисано и колаборативно идентификовање, ревизију, приоритизацију, документовање и контролу имплементације захтева, омогућавајући да су сви захтеви, од корисничких до регулаторних обједињени, структурирани и документовани на кохерентан начин, доступни свим заинтересованим странама у PLM окружењу, са следљивим везама у односу на компоненте дизајна. *Requirement Management* решења, између осталог, пружају могућност ефикасног управљања приоритетима и ризицима, процену и разумевање утицаја промена у захтевима на животни циклус производа; интегрисање захтева са процесима њихове имплементације за континуирану верификацију усаглашености производа; директно повезивање захтева са конфигурацијама у циљу поновне употребе; интегрисано управљање захтевима и процесима верификације итд.

⁷⁸ www.3ds.com

Systems Architecture Management

Трансформацијом производа у системе механичких, електроничких и софтверских компоненти, драстично расте њихова сложеност, док управљање интеракцијама између компоненти постаје све теже, генеришући ризике од међусобне неусаглашености, касног откривања грешака и скупих преправки. Захваљујући *Systems Architecture Management* решењима, PLM интегрише архитектуру производа као окосницу његове дефиниције у дигиталну нит која се успоставља и одржава *од краја до краја* животног циклуса производа. Оваква решења омогућавају увоз и синхронизацију модела креираних у екстерним алатима за моделирање система, чиме је омогућено интегрисано управљање захтевима, структурама система (функционалним, логичким и физичким) и процесима верификације унутар PLM-а. Успостављајући следљивост дуж дигиталне нити, PLM дистрибуира информације специфичне за домене низводно у развоју производа, истовремено успоставља повратне петље, враћајући индиције о неусаглашеностима и другим проблемима назад у дигиталну нит, омогућава оптимизације на нивоу архитектуре система.

На овај начин, PLM синхронизује различите домене укључене у развој производа, омогућава тимовима да граде системе разумевајући импликације потенцијалних промена на више домена. Такође, успоставља дигиталну нит између леве и десне стране *V-модела* развоја (процеси дизајна и верификације) превазилазећи проблем њихове недовољне повезаности, чиме смањује ризик од касног откривања грешака и кашњења.

Cross-domain Product Design Collaboration (ECAD, MCAD and Software Development Management)

Развој сложених производа са све више електроничких и софтверских компоненти уз тренд персонализације и глобално дистрибуиране тимове прате изазови попут рада са подацима из различитих изворних система, изоловани силоси информација различитих инжењерских домена, проблеми неповезаних система и процеса, некомпатибилност података у окружењу хетерогених инжењерских алата итд. Ово често условљава губитак података, рад са погрешним спецификацијама производа, непотребно утрошено време на поновно проналажење и преузимање података и резултира оперативном неефикасношћу, преправкама, ниском стопом поновне употребе раније развијених решења итд.

Као одговор на ове изазове, PLM подржава *Cross-domain Product Design Collaboration* концепт, ослањајући се на решења која подржавају инжењерске процесе у мулти-CAD окружењу и симултани инжењеринг, повезивање и сарадњу различитих домена укључених у развој производа. Захваљујући интеграцији хетерогених инжењерских алата попут CASE (*Computer-Aided Software Engineering*), ECAD (*Electronic Computer-Aided Design*) и MCAD (*Mechanical Computer-Aided Design*) алата и др., PLM обједињује и управља дизајном механичких, електроничких и софтверских компоненти производа, превodeћи ове података у неутралне формате и контекст прилагођен различитим инжењерским доменима. Синхронизујући на аутоматизован начин више извора информација, PLM гради тзв. *јединствени извор истине* о производу и омогућава инжењерима различитих дисциплина да доприносе процесима развоја производа користећи конзистентни извор информација о дефиницији производа. Другим речима, PLM пружа могућност мултидисциплинарним тимовима за развој и увођење нових производа који раде у окружењу хетерогених инжењерских алата да несметано сарађују у реалном времену, приступају, прате и поново користе информације о дефиницији производа. Одржавајући потпуну дигиталну следљивост, осигурава да сви инжењери укључени у процесе развоја раде са веродостојним спецификацијама производа, које одражавају најновије промене у његовој дефиницији.

Simulation Process and Data Management

Управљање симулационим процесима и подацима (енг. *Simulation Process and Data Management*) као интегрални део PLM стратегије, обезбеђује интеграцију симулационих података у PLM окружење и њихову уградњу у тзв. дигиталну нит производа, која се успоставља и одржава у оквиру PLM-а.

На овај начин PLM обезбеђује приступ резултатима симулације и тестирања за све заинтересоване стране, подржавајући инжењерске процесе и одлуке у развоју нових производа, пружа могућност интеграције резултата дигиталне симулације и физичког тестирања олакшавајући корелационе анализе, омогућава интегрисање захтева за верификацију са процесима анализе и симулације, повећавајући ефикасност инжењеринга, итд. Истовремено, превазилази проблем ограничене доступности и релевантности симулационих података, рада са застарелим подацима или преоптерећености подацима, укључујући и ризике од њихових губитка.

Захваљујући интеграцији са решењима за симулацију и анализу, PLM обезбеђује аутоматску дистрибуцију података о дефиницији производа попут CAD модела и других релевантних параметара дизајна ка процесима симулације и анализе, пружајући им, на тај начин, улазне параметре сагласно контексту анализе. Оваква интеграција омогућава изградњу симулационих модела и одржава их ажурним сагласно променама у дефиницији производа. Одржавајући односе између симулационих података и референцираних објеката, PLM омогућава лакше претраживање и проверу релевантности симулационих података.

Digital Manufacturing/Bill of Processes

Концепт дигиталне производње (енг. *Digital Manufacturing*) интегрисан у PLM стратегију омогућава свеобухватно планирање и оптимизацију производних процеса још у раним фазама развоја производа, стварајући окружење за симултано пројектовање производа и производни инжењеринг. Подразумева примену дигиталног моделирања у планирању производних процеса, њихову виртуелну симулацију и валидацију, надгледање и контролу, све до потпуне дигиталне дефиниције производног окружења, укључујући производне погоне и опрему. Дигитална производња ствара окружење за симултани инжењеринг кроз целокупан процес од концептуалне фазе у развоју производа и процеса, преко симулација, валидација до генерисања инструкција за рад у производним погонима. Такође валидацију и симулацију различитих производних захтева, рано отклањање потенцијалних проблема у производњи, симулацију тока процеса, анализу и оптимизацију перформанси производње и друго. Такође укључује решења за виртуелно дизајнирање и валидацију контроле машина, радних ћелија или читавих линија, и пружа могућност дигиталног надгледања свих врста аутоматизованих система.

3D Visualization and Digital Mockup

Већина PLM система данашњице инкорпорира технологије које подржавају могућности визуелне интерпретације модела система, CAD модела и других релевантних информација о дефиницији производа и процеса у виду 3D модела, укључујући напредне могућности, мерења и анализе склопова у овим моделима. Захваљујући инкорпорацији технологија визуелизације и дигиталног моделирања (енг. *3D Visualization and Digital Mockup*), PLM обезбеђује једноставан приступ, преглед и дељење 3D модела између свих заинтересованих страна у PLM окружењу, без потребе за лиценцираним MCAD решењима. На овај начин олакшава мултидисциплинарну сарадњу изван механичког дизајна производа, подржава доношење инжењерских одлука, омогућава заједнички рад крос-функционалних тимова и партнера у ланцу вредности у ревизији, одобравању и оптимизацији дизајна. Технологије

3D визуелизације и анализе информација, у контексту PLM-а, омогућавају заједничко разумевање, синхронизован рад и превазилажење проблема комуникације између инжењера у PLM окружењу, поспешујући општу ефикасност процеса развоја и увођења нових производа.

Manufacturing Process Planning

Интегрисање решења за планирање процеса производње (енг. *Manufacturing Process Planning*) у PLM, решава проблем недовољне следљивости и отежане синхронизације података између инжењеринга производа и планирања производње, захваљујући асоцијативним структурама и потпуној следљивости од тзв. *as-designed* до *as-planned* конфигурација, омогућеној синхронизацијом између eBOM и mBOM структура и интегрисаним управљањем променама за бољу контролу утицаја и већу следљивост промена ка процесима низводно у ланцу вредности. Одржавајући конзистентност, двосмерну следљивост и синхронизацију информација у eBOM и mBOM структурама, PLM ефикасно дистрибуира све измене у дефиницији производа ка системима за планирање процеса производње чиме подржава агилност производних система. Оваква интеграција пружа могућност генерисања радних упутстава за специфичне конфигурације, укључујући и аутоматска ажурирања сагласно изменама у дефиницији производа, координисаним кроз eBOM и mBOM структуре.

Што заједно подржава успостављање затворене петље од инжењеринга производа преко планирања производних процеса до извршења производње. Пружајући инжењерима у производњи рани приступ дефиницији производа, захтевима и налозима за инжењерске промене, омогућава рану валидацију изводљивости и трошкова производње и повратне информације о критичним тачкама и проблемима, пружајући важне индикације за континуирана унапређења производа и процеса. На овај начин, PLM доприноси редуковању губитака и бољем управљању ресурсима у производњи, бржем пласману на тржиште и већој профитабилности производа, подржава оптимизацију залиха и смањује ризик од неусаглашености.

Service Engineering

Интегрисање *Service Engineering* решења за управљање операцијама сервисирања, деловима и осталим аспектима оперативне подршке са PLM-ом, пружа ентитетима одговорним за сервис и одржавање производа током рада (ОЕМ произвођачи, корисници, треће услужне организације итд.) приступ конзистентним дефиницијама специфичних конфигурација производа, сервисним деловима, техничким публикацијама са сервисним инструкцијама итд. Пружа могућност генерисања sBOM структура, њихову синхронизацију са eBOM-ом и ажурирање са процесима инжењерских промена, стварајући на тај начин затворену петљу између инжењеринга производа и сервисног инжењеринга. Што подржава тзв. *designing for serviceability* приступ од раних фаза развоја производа, приступ проактивног управљања сервисним операцијама и бољи одговор на захтеве редовног и предиктивног одржавања и минимизације застоја, смањење грешака и опозива, што води ка унапређењу општих оперативних перформанси производа и постпродајних услуга.

Интеграцијом PLM-а са решењима ентитета одговорних одржавање производа у раду као што су системи за управљање имовином предузећа (енг. *Enterprise Asset Management - EAM*), системи за одржавање, поправке и ремонт (енг. *Maintenance Repair Overhaul - MRO*), компјутеризовани системи за управљање одржавањем (енг. *Computerized Maintenance Management Systems - CMMS*) итд., повратне информације о оперативним перформансама производа и сервисним операцијама могу бити потхрањене у PLM-у и пружити подршку у развоју оптималних процедура сервисирања и континуираним унапређењима производа, оптималном управљању сервисним деловима итд.

Са аспекта корисника средстава у капитално интензивним индустријама, овакав приступ олакшава управљање животним циклусом капиталне имовине превазилазећи проблем неповезаних система и несинхронизованих информација између компанија за инжењеринг капиталних средстава и ентитета одговорних за њихово одржавање.

Environmental Compliance Management

Управљање усаглашеностима са стандардима заштите животне средине (енг. *Environmental Compliance Management*) подразумева имплементацију алата и приступа који подржавају ефикасно интегрисање принципа одрживости у инжењеринг производа и процеса, још од њихових раних фаза, омогућавајући избор одговарајућег дизајна, материјала или производних технологија како би се оптимизовала употреба ресурса, повећала енергетска ефикасност, контролисао утицај производа на животну средину, установиле одговарајуће стратегије које доприносе затварању петље материјалних и енергетских токова итд.

Као део PLM стратегије *Environmental Compliance Management*, између осталог, омогућава јединствен извор истине за ефикасно усвајање принципа одрживог инжењеринга производа и процеса превазилазећи проблеме ограничене доступности и валидности информација неопходних за извођење потребних анализа; олакшан приступ информацијама о усаглашености производа у односу на важеће регулативе; лако идентификовање усаглашених компоненти за поновну употребу; идентификовање и управљање захтевима одрживости у раним фазама развоја и процену одрживости донетих одлука; лако откривање ризика по усаглашеност производа итд.

Један од начина на које компаније данас интегришу одрживе праксе у процесе инжењеринга производа је примена *LCA (Life Cycle Assessment)* приступа који се дефинише као техничко средство за холистичку процену утицаја производа и процеса на животну средину. *LCA* ефикасно интегрише принципе одрживости у инжењеринг производа и процеса због чега је све чешће део PLM стратегије многих компанија. Тренутно у индустрији PLM технологија јача тренд интеграције *LCA* алата са PLM-ом и технологијама дигиталних близанаца, што помаже у интеграцији *LCA* праксе кроз читав ланац вредности.

Supply Chain Collaboration and Source Management

Supply Chain Collaboration and Source Management као део функционалног домена PLM-а обезбеђује холистички приступ управљању вишеслојним интеракцијама са добављачима, пружајући на тај начин предузећима контролу над дисперзивним глобалним ланцима снабдевања. Захваљујући овим решењима, PLM делује као централизована платформа која омогућава ефикасну интеграцију добављача компоненти са процесима OEM (енг. *Original Equipment Manufacturer*) произвођача, дељење података у реалном времену, нудећи различита решења за оптимизацију сарадње, омогућава им да раде на синхронизован начин и ефикасно деле знање о производу. *Supply Chain Collaboration* решења учесницима у ланцу снабдевања пружају приступ информацијама о дефиницији производа - BOM, CAD итд., записима о захтевима, квалитету и инжењерским променама, обезбеђујући тзв. *јединствени извор истине* и интегрисани ток података кроз међуорганизацијски ланац снабдевања, уз ограничени ризик по безбедност интелектуалне својине. На овај начин PLM, спречава појаву уских грла у ланцима снабдевања, елиминише кашњења и трошкове редизајна и преправке, повољно утиче на агилност производних система и време потребно за пласман производа на тржиште.

Неке од могућности које PLM платформе попут 3DXSPERIENCE нуде у склопу својих *Supply Chain Collaboration* решења укључују:

- „платформу за управљање пројектима која омогућава додељивање задатака, праћење прекретница, дељење садржаја, управљање токовима рада и променама за све учеснике у ланцу снабдевања;
- визуелне комуникационе алате који омогућавају добављачима да учествују у прегледу дизајна, без потребе за стандардизацијом CAD алата;
- централизоване датотеке и документа са следљивим променама;
- централизоване процесе, комуникационе канале и протоколе за инжењерске промене;
- већу транспарентност, документовањем свих активности и одржавањем следљивости активности у развоју производа;
- централизовани процес одобравања са управљањем захтевима за променама, идентификованим ланцима одобрења и комплетним управљањем верзијама.“⁷⁹

Уз то, *Direct Sourcing* решења пружају могућност управљања информацијама о добављачима, њихову систематску евалуацију, опције извештавања и многе друге. Оваква решења омогућавају разумевање покретача трошкова у раним фазама развоја и оптимизацију директних трошкова, уз активно укључивање интерних функционалних група као што су инжењеринг, производња, управљање квалитетом итд.

Quality Planning and Management

Интегрисање планирања и управљања квалитетом (енг. *Quality Planning and Management*) у PLM стратегију омогућава холистички приступ управљању квалитетом проширујући његов домен на целокупан животни циклус производа. Омогућава, интегрисање и синхронизацију процеса развоја производа (дизајн за квалитет), планирања квалитета, контроле и континуираног унапређења квалитета производа и других процеса за подршку систему управљања квалитетом, чиме превазилази проблеме недовољне повезаности партиципирајућих домена (инжењеринг производа, производња и управљање квалитетом), недостатак централизованог приступа подацима итд. Такође, омогућава управљање квалитетом у затвореној петљи повезујући процесе контроле и унапређења квалитета са записима о дефиницији производа, захтевима, процесима управљања променама и издањима итд. Овакав приступ омогућава унапређење система управљања квалитетом, откривање проблема у раним фазама развоја, смањене трошкове квалитета (трошкове опозива и гаранција) итд.

Analytics and Reporting

Аналитика и извештавање (енг. *Analytics and Reporting*) укључује низ решења за пословну аналитику и приказивање податка путем унапред конфигурисаних или прилагођених извештаја. Користећи се релевантним подацима из интегрисаног PLM окружења, пружа могућност праћења кључних индикатора перформанси, укључујући и контролне табле за идентификовања негативних трендова и кретања, анализу процеса у развоју нових производа и ланцима снабдевања на основу успостављања, мерења и анализе релевантних метрика. Обезбеђујући, на тај начин, основу за доношење одлука у циљу оптимизације производа и процеса, редуковања трошкова, трајања развојних циклуса итд.

Program and Project Management

Управљање програмима и пројектима (енг. *Program and Project Management*) као саставни део PLM функционалног опсега подржава планирање, праћење и контролу сложених пројеката развоја и реализације производа, на начин који осигурава интегрисање њиховог извршења са релевантним PLM процесима попут управљања променама, управљања захтевима, управљања неусаглашеностима итд.; олакшану крос-функционалну сарадњу у

⁷⁹ plm.sw.siemens.com

реализацији пројектних задатака; одржавање двосмерне следљивости између информација о производу и резултата пројекта; обезбеђивање доступности информација о ресурсима, обиму и статусу пројекта свим заинтересованим странама у PLM окружењу; пружање приступа заснованог на улогама за партнере у ланцу снабдевања итд. Укључујући и координацију целокупним програмом пројекта у домену развоја и комерцијализације производа, управљање њиховим међусобним утицајем итд.

Product Cost Management

Product Cost Management решења омогућавају рано идентификовање и транспарентност покретача трошкова подржавајући приступ проактивног управљања трошковима животног циклуса производа. Оваква решења пружају моделе предикције трошкова користећи се параметарским основама садржаним у PLM-у, односно у BOM и BOP структурама и другим релевантним изворима, ослањајући се стандардизоване методе обрачуна. Неке од могућности које комерцијална решења за управљање трошковима производа интегрисана у PLM подржавају укључују: успостављање конзистентног складишта информација о трошковима животног циклуса производа; обезбеђивање транспарентности процена у целом ланцу вредности; крос-функционални приступ инжењерингу трошкова; једноставна анализа утицаја промена у дефиницији производа на трошкове, симулације различитих техничких и пословних сценарија; процене профитабилности пројекта развоја производа и поређења на нивоу програма; подршка инжењерингу трошкова за делове испоручене од стране добављача итд.

8 СТУДИЈА СЛУЧАЈА

У циљу валидације предложеног методолошког приступа у реалном контексту спроведена је студија случаја применом предложеног интегралног вишекритеријумског модела оптимизације процеса имплементације PLM-а приказаног у поглављу 7. Надаље приказана студија случаја резултат је истраживања спроведеног у сарадњи са предузећем Termorad Group d.o.o. Пожега чија је претежна делатност регистрована у сектору производње електричних апарата за домаћинство. Предузеће је специјализовано за развој и производњу бојлера, димоводних система од прохрома и сродних производа, са асортиманом од преко 150 модела производа. Производни програм предузећа укључује и хидрофорске посуде, експанзионе посуде за системе етажног грејања и санитарну воду и наменско инокс посуђе.

Систем пословања предузећа је усклађен са захтевима стандарда ISO 9001:2015, док су процеси развоја производа изводе према *QMS.B.08 процедури за реализацију пројеката развоја нових и модификацију постојећих производа*. Такође, финални производи предузећа су усаглашени са европским нормама (СЕ знак) укључујући стандарде EMC (*Electromagnetic Compatibility*), R&TTE (*Radio Equipment and Telecommunication Terminal Equipment*) и LVD (*Low Voltage Directive*) и регулативама стандарда EAC.

Увидом у реално стање установљено је да у предузећу нису дефинисани стандарди и концепти који се тичу управљања животним циклусом производа. Не постоји тзв. *end to end* PLM процес који је подржан интегрисаним ИТ системом, постојећи системи за обраду информација подржавају само изоловане аспекте овог процеса, као што је инжењеринг производа. Наиме, тренутно су у употреби 3D MCAD и ECAD решења, решења за визуелизацију, укључујући и сет стандардних PDM функционалности, махом оријентисаних на управљање 2D и 3D CAD подацима и технолошком документацијом. Решења која су у употреби се не користе на интегрисан начин, због њихове ниске интероперабилности информације о дефиницији производа се чувају у изолованим силосима, при чему се оваквим информацијама управља фрагментирано, такође постојећи ИТ алати нису у стању да подрже системску сарадњу у вези са информацијама о производу.

За потребе анализа предвиђених моделом оформљен је тим аналитичара који укључује представнике персонализованих знања и искустава, специфичних за области обухваћене анализом. Формирани тим је интердисциплинарног карактера како би се лакше интегрисале експертизе из свих релевантних области, с тим у вези тим укључује:

- запослене ППС-а (укључујући представнике формалних функционалних група за истраживање и развој, техничку припрему, производњу и монтажу, сервис и одржавање и набавку) са релевантним знањем о интерним процесима, укључујући и познавање контекстуалних околности и циљева PLM иницијативе ППС-а;
- аналитичаре са експертизом у области имплементације PLM-а, ангажоване у организацијама за пружање консалтинг услуга у области имплементације PLM-а и
- представнике академске заједнице у релевантним научним областима.

Студија случаја приказана у наставку је реализована према алгоритму примене интегралног вишекритеријумског модела приказаном на слици 43.

8.1 Приоритизација аспеката анализе PLM функционалних подручја

Оцена релативног приоритета дефинисаних аспеката анализе PLM функционалних подручја се према предложеном приступу изводи применом АНР методе. Примењени модел користи методу геометријске средине за извођење приоритета из матрице преференцијалних односа. Ради се о модификованом Buckley-овом [57] моделу, који је, за разлику од оригиналног, развијен у IT2F окружењу у циљу редуковања неодређености у исказивању преференција, које се везују за природу когнитивних процеса, укључујући

несигурности, недоследно резонovanje, немогућност исказивања перцепција на задовољавајуће прецизан итд. Приоритизација аспеката анализе је спроведена на основу процена запослених ППС-а, тим ангажован у процесу приоритизације је крос-функционалног карактера, укључујући и представнике менаџмента, како би се узеле у обзир перспективе различитих заинтересованих страна. Надаље је дат процес приоритизације.

Успостављање индивидуалних матрица упоредног поређења атрибута: Своје субјективне преференције о релативној важности атрибута учесници процена приоритизације исказују дефинисањем преференцијалних односа описаних односима релативне важности атрибута. Ове односе моделирају уз помоћ лингвистичких варијабли, математички описаних одговарајућим IT2TrF бројевима сагласно скали датој у табели 7. Процес резултира индивидуалним матрицама преференцијалних односа $\tilde{A}^k = \{\tilde{a}_{ij}^k\}_{n \times n}$, $k = 1, \dots, K$, где је K број учесника процена приоритизације, а n број атрибута приоритизације.

Тест конзистентности процена се спроводи у циљу откривања и отклањања недоследности исказаних преференција. У циљу верификације конзистентности процена Saaty [357] уводи индикатор стопа конзистентности (*Consistency Ratio – CR*) који се утврђује према (58). *CI* је индекс конзистентности (*Consistency Index – CI*) дефинисан на основу (59), при чему λ_{max} представља максималну сопствену вредност (*Maximum Eigenvalues*) матрице изведену из њеног дефазификованог облика, док n означава укупан број критеријума. *RI* означава случајни индекс конзистентности (*Random Consistency Index – RI*) и представља константу одређену величином матрице (табела 21).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (58)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (59)$$

Табела 21. Вредност случајног индекса конзистентности (*RI*) [357]

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>RI</i>	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Уколико је услов $CR \leq 10\%$ задовољен, захтевани ниво конзистентности матрице је постигнут, у супротном недоследност процена је изнад прихватљивих граница, због чега је неопходно поновити поступак утврђивања преференцијалних односа. Према резултатима теста конзистентности (табела 22), постигнут је задовољавајући ниво конзистентности за све успостављене матрице преференцијалних односа ($CR_k < 10\%$, $k = 1, \dots, K$), што значи да се ниво недоследности процена креће у дозвољеним границама.

Агрегација индивидуалних преференцијалних односа ($\tilde{a}_{ij}^k$) се изводи према (29 и 30) Као резултат генерише се агрегиране матрица преференцијалних односа (Табела 22).

Прорачун геометријске средине ($\tilde{r}_i$) се изводи за сваки рад агрегатне матрице упоредног поређења према (31) и представља основу за генерисање приоритета из дефинисаних преференцијалних односа.

Прорачун тежинских вектора атрибута ($\tilde{w}_i$) користи претходно генерисане вредности $\tilde{r}_i$ и изводи се према (32). Добијени тежински коефицијенти одражавају релативне приоритете аспеката анализе PLM функционалних подручја.

Према резултатима процена приоритизације (табела 23), највећи релативни значај аналитичари додељују аспектима *стратешки доприноси имплементације* (0.333) и *утицај на организационе способности развоја нових производа* (0.279), аспект високог приоритета је и *трошкови имплементације* (0.231), док је аспектима *сложеност* и *ризичи имплементације* додељен нешто нижи релативни приоритет, 0.088 и 0.069 респективно.

Табела 22. Агрегирана матрица преференцијалних односа аспеката анализе PLM функционалних подручја

Аспекти анализе PLM функционалних подручја		Агрегатна матрица упоредног поређења ($\tilde{A}$)				
		AA_1	AA_2	AA_3	AA_4	AA_5
AA_1	Трошкови имплементације	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(1,05,1,19,1,47,1,63;1,1) (1,08,1,22,1,43,1,6;0,8,0,8)	(0,79,0,92,1,25,1,48;1,1) (0,82,0,95,1,21,1,42;0,8,0,8)	(0,28,0,34,0,46,0,54;1,1) (0,29,0,35,0,45,0,53;0,8,0,8)	(0,37,0,45,0,61,0,71;1,1) (0,39,0,47,0,59,0,69;0,8,0,8)
AA_2	Ризици имплементације	(0,61,0,68,0,84,0,95;1,1) (0,63,0,7,0,82,0,92;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0,36,0,4,0,57,0,8;1,1) (0,36,0,41,0,55,0,74;0,8,0,8)	(0,14,0,16,0,24,0,34;1,1) (0,14,0,17,0,23,0,31;0,8,0,8)	(0,14,0,16,0,24,0,36;1,1) (0,14,0,17,0,23,0,32;0,8,0,8)
AA_3	Сложеност имплементације	(0,68,0,80,1,08,1,27;1,1) (0,7,0,83,1,05,1,23;0,8,0,8)	(1,25,1,74,2,49,2,81;1,1) (1,36,1,83,2,42,2,75;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0,16,0,19,0,30,0,47;1,1) (0,16,0,19,0,29,0,42;0,8,0,8)	(0,19,0,21,0,28,0,34;1,1) (0,19,0,22,0,27,0,32;0,8,0,8)
AA_4	Стратешки доприноси имплементације	1,84,2,17,2,93,3,55;1,1) (1,9,2,24,2,83,3,39;0,8,0,8)	(2,95,4,10,6,21,7,24;1,1) (3,19,4,31,6,00,7,03;0,8,0,8)	(2,14,3,29,5,40,6,43;1,1) (2,38,3,51,5,20,6,23;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0,72,0,82,1,15,1,55;1,1) (0,74,0,84,1,1,1,44;0,8,0,8)
AA_5	Утицај на организационе способности развоја нових производа	(1,4,1,64,2,22,2,71;1,1) (1,45,1,7,2,13,2,58;0,8,0,8)	(2,81,4,1,6,21,7,11;1,1) (3,09,4,33,5,99,6,94;0,8,0,8)	(2,95,3,57,4,70,5,24;1,1) (3,08,3,68,4,59,5,14;0,8,0,8)	(0,64,0,87,1,22,1,38;1,1) (0,70,0,91,1,18,1,35;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)
$CR_1 = 0,0617$; $CR_2 = 0,0303$; $CR_3 = 0,0342$; $CR_4 = 0,0425$; $CR_5 = 0,0489$						

Табела 23. Резултати приоритизације аспеката анализе PLM функционалних подручја применом IT2FАНР методе

Аспекти анализе PLM функционалних подручја		IT2TrF геометријска средина ($\tilde{r}_i$)	IT2TrF тежински вектори ($\tilde{w}_i$)	Дефазификоване вредности (w_i)
AA_1	Трошкови имплементације	(0,613,0,7,0,875,0,986;1,1) (0,632,0,719,0,854,0,962;0,8,0,8)	(0,138,0,131,0,124,0,12;1,1) (0,136,0,130,0,124,0,121;0,8,0,8)	0,231
AA_2	Ризици имплементације	(0,335,0,372,0,492,0,62;1,1) (0,342,0,381,0,474,0,586;0,8,0,8)	(0,075,0,069,0,069,0,075;1,1) (0,074,0,069,0,069,0,074;0,8,0,8)	0,069
AA_3	Сложеност имплементације	(0,478,0,560,0,746,0,891;1,1) (0,495,0,576,0,723,0,856;0,8,0,8)	(0,107,0,105,0,105,0,108;1,1) (0,107,0,104,0,105,0,108;0,8,0,8)	0,088
AA_4	Стратешки доприноси имплементације	(1,532,1,888,2,574,3,033;1,1) (1,608,1,955,2,497,2,923;0,8,0,8)	(0,344,0,352,0,363,0,369;1,1) (0,346,0,354,0,363,0,368;0,8,0,8)	0,333
AA_5	Утицај на организационе способности развоја нових производа	(1,497,1,837,2,396,2,685;1,1) (1,572,1,898,2,336,2,622;0,8,0,8)	(0,336,0,343,0,338,0,327;1,1) (0,338,0,343,0,339,0,338;0,8,0,8)	0,279

8.2 Анализа трошкова имплементације

Анализа трошкова имплементације PLM-а у спроведеној студији, следи структуру трошкова дефинисану ТСО моделом који је представљен и коментарисан у потпоглављу 7.5. Модел систематизује категорије капиталних улагања за потребе набавке и имплементације PLM решења и изградњу ИТ инфраструктуре способне да подржи имплементиране технологије и оперативне издатке који се везују за употребу и одржавање система. При чему треба нагласити да прелазак на *Cloud* инфраструктуру или употреба хостованих лиценци за PLM софтвере преноси ове традиционално капиталне трошкове у категорију оперативних издатака. Такође као фактор предикције трошкова модел предвиђа организационе аспекте имплементационих напора попут промена у пословним процесима, организационој структури и улогама итд.

За процену имплементационих напора као параметарске основе за предикцију капиталних трошкова набавке и имплементације PLM решења, усвојен је модел који су предложили *Erasmus* и *Daneva* [135] представљен у потпоглављу 7.5. Сагласно моделу, за извођење процена за базичне карактеристике система коришћени су параметри функционалне величине решења, изведени из захтева који се стандардно дефинишу у раној фази имплементације; за процене које се односе на прилагођавања специфична за индустрију, која се најчешће заснивају на примени унапред конфигурисаних и поновљивих сценарија коришћена су правила изведена на основу аналогних пројеката; док су се процене за прилагођавања сагласно специфичним потребама пословног система заснивале на претходном искуству и расуђивању стручњака укључених у процене.

Пројекције трошкова у осталим категоријама ТСО модела су вођене параметрима као што су обим и квалитет информација за миграцију, број крајњих корисника, број и својства наслеђених система, захтеви у погледу оперативног знања и постојећи ниво обучености кадрова, опсег обухваћених пословних процеса, планиране пословне промене у организационој структури, системима и процесима итд. Предикције трошкова су изведене на нивоу појединачних PLM функционалних аспеката, при чему треба нагласити да су анализом обухваћени трошкови које је у конкретном случају било могуће диференцирати на појединачне аспекте. Процене су генерисане на основу информација обезбеђених од провајдера PLM софтверских решења, стручних процена и расуђивања лица са искуством у пројектима имплементације PLM-а и информација обезбеђених од представника пословног система са релевантним знањем о интерним процесима и оперативним околностима предузећа.

За потребе формирања вишекритеријумске базе за анализу која је предмет ове студије, изведене процене трошкова се превode у одговарајуће IT2TrF бројеве, при чему се усваја скала приказана у табели 24, док су коначни резултати анализе приказани у табели 25.

Табела 24. IT2TrF скала за процену трошкова

Распон вредности трошкова	IT2TrF бројеви
Мање од 10% тренутно расположивих средстава	(0,0,0,0.1;1,1) (0,0,0,0.05;0.9,0.9)
Између 10-20% тренутно расположивих средстава	(0,0.1,0.15,0.3;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)
Између 20-30% тренутно расположивих средстава	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
Између 30-40% тренутно расположивих средстава	(0.3,0.5;0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
Између 40-60% тренутно расположивих средстава	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
Између 60-100% тренутно расположивих средстава	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)
Изнад тренутно расположивих средстава	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)

Табела 25. Процене трошкова имплементације

PLM функционална подручја		Процене трошкова
FP_1	Product Structure Management	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
FP_2	Product Configuration Management	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
FP_3	Design Release and Change Management	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
FP_4	Classification Management	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
FP_5	Product Document Management	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
FP_6	Requirement Management	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
FP_7	Systems Architecture Management	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
FP_8	Cross-domain Product Design Collaboration	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
FP_9	Simulation Process and Data Management	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
FP_10	Digital Manufacturing/Bill of Processes	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
FP_11	3D Visualization and Digital Mockup	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
FP_12	Manufacturing Process Planning	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
FP_13	Service Engineering	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
FP_14	Environmental Compliance Management	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
FP_15	Supply Chain Collaboration and Source Management	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
FP_16	Quality Planning and Management	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
FP_17	Analytics and Reporting	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
FP_18	Program and Project Management	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
FP_19	Product Cost Management	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)

8.3 Анализа сложености имплементације

Анализа сложености се заснива на моделу детаљно представљеном у потпоглављу 7.6.2. Модел полази од тумачења сложености у контексту управљања пројектима, које произилази из теорије система и посматра сложеност као последицу дивергентности елемената пројектног система и њихових међусобних интеракција, при чему обухвата факторе који одређују тзв. дескриптивну сложеност, која се тумачи као иманентно својство пројекта и која се може квантитативно изразити.

Сагласно установљеном оквиру сложености (слика 46), који систематизује атрибуте сложености специфичне за дати контекст, обухватајући укупно 24 различита својства пројекта, изводи се анализа утицаја који својстава одређеног пројекта имају на његову сложеност, на нивоу појединачних атрибута. Након чега се сагласно процедури приказаној у потпоглављу 7.6.2 изводи композитна мера сложености пројекта. Резултати анализе су представљени у наставку.

Све неопходне процене су изведене од стране интердисциплинарног тима који укључује запослене ППС-а, аналитичаре са искуством у пројектима имплементације PLM-а и представнике академске заједнице релевантних научних области.

Утврђивање тежинских коефицијената атрибута сложености

Предложени модел усваја релативне тежине ($\tilde{\epsilon}_i$) генерисане у оквиру *Delphi* студије детаљно представљене у потпоглављу 7.6.2, која је спроведена у циљу валидације релевантности атрибута за описивање сложености пројекта имплементације PLM-а, као део истраживачког процеса на развоју оквира сложености. Резултати ове студије са одговарајућим тежинским коефицијентима дати су у прилогу 3.

Према резултатима *Delphi* студије највећи релативни утицај на сложеност пројекта имају својства која се односе на технички обим имплементације (број информационих система/решења/функција које треба имплементирати); степен организационих промена (захтеви реинжењеринга пословних процеса, промене у организационој култури и сл.);

напори прилагођавања решења (врста и степен прилагођавања, јасно дефинисани захтеви прилагођавања итд.); зависности између информационих система/решења/објеката које треба имплементирати; захтевани степен интеграције итд.

Анализа и процена утицаја атрибута на сложеност пројекта

Процес укључује анализу својстава пројекта обухваћених оквиром сложености, ова анализа се изводи на нивоу појединачних PLM функционалних подручја. Даље се процењује отежавајући утицај који одређено својство може имати на разумевање, предвиђање и контролу понашања пројекта и у складу са тим описују се импликације датог својства у контексту напора у реализацији пројекта и његових исхода, коришћењем лингвистичких карактеризација предвиђених скалом датом у табели 14, ова анализа је приказана у табели 26. Полазећи од претпоставке да су за овакве процене својствена приближна резонанса, несигурности и недоследности људског расуђивања, укључујући колебања и оклевања у процени, лингвистичке карактеризације коришћене у процени су математички описане IT2TrF бројевима, сагласно датој скали. Ове процене се изводе на нивоу појединачних PLM функционалних подручја ($\tilde{\vartheta}_{ij}$).

Извођење композитне мере сложености пројекта

Композитна мера сложености пројекта ($\tilde{\tau}_j$) се изводи на основу утицаја процењеног на нивоу појединачних својстава пројекта (атрибута сложености), а према (55). Изведене тежине (табела 27) представљају меру релативне сложености појединачних иницијатива у оквиру пројекта имплементације PLM-а, које се у овој студији односе на специфична PLM функционална подручја и одражавају ниво напора у реализацији пројекта.

Према резултатима анализе, највећа композитна мера сложености је процењена у случају функционалног подручја *Systems Architecture Management*, при чему ова сложеност према проценама аналитичара произилази из разноликости информационих система, софтверских решења и других објеката које треба интегрисати, укључујући и захтевани степен интеграције. Значајан отежавајући утицај према анализи могу имати и ограничени интерни ресурси и потреба за ослањањем на спољне актере, чему треба додати и сложености имплементираних технологија итд. Висока сложеност се процењује и за увођење функционалног подручја *Simulation Process and Data Management*, при чему је она према проценама аналитичара последица ниске зрелости технологија у овој области и недостатка претходног искуства са сличним технологијама. Висок ниво напора у реализацији пројекта се оцењује и за *Product Configuration Management*, који је генерисан бројем партиципирајућих организационих ентитета и опсегом обухваћених пословних процеса, затим *Cross-domain Product Design Collaboration* што аналитичари везују за технички обим имплементације. Док је у случају *Environmental Compliance Management* то степен неопходних организационих промена итд. Са друге стране, анализа указује да су функционална подручја ниског степена сложености у погледу имплементационих напора *Classification Management u Analytics and Reporting*.

Табела 26. Анализа сложености пројеката имплементације

Атрибути сложености	Релативни значај атрибута сложености ($\tilde{\epsilon}_i$)	Утицаја атрибута на сложеност пројекта ($\tilde{\vartheta}_{ij}$)								
		FP_1	FP_2	FP_3	FP_4	FP_5	FP_6	FP_7	FP_8	FP_9
CA_1	(5.36,6.38,8.12,8.81;1,1)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1)	(0.56,0.75,0.8,0.93;1,1)	(0.10,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.56,0.75,0.8,0.93;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)
	(5.57,6.59,7.92,8.68;0.8,0.8)	(0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.66,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.66,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
CA_2	(6.44,7.44,8.74,9;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)	(0.10,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.10,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)
	(6.64,7.65,8.54,8.95;0.8,0.8)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
CA_3	(5.29,6.29,8.16,9;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)
	(5.49,6.50,7.96,8.83;0.8,0.8)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
CA_4	(4.72,5.74,7.70,8.63;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.56,0.75,0.8,0.93;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)
	(4.93,5.95,7.50,8.45;0.8,0.8)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.66,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.5,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)
CA_5	(3.87,4.90,6.93,7.94;1,1)	(0.10,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.10,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.00,0.10,0.15,0.3;1,1)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1)	(0.00,0.21,0.26,0.42;1,1)	(0.10,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)
	(4.08,5.10,6.73,7.74;0.8,0.8)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.05,0.10,0.15,0.2;0.9,0.9)	(0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.13,0.21,0.26,0.32;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.5;0.9,0.9)
CA_6	(3.41,4.43,6.45,7.45;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.10,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.25,0.47,0.52,0.68;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)
	(3.61,4.63,6.25,7.25;0.8,0.8)	(0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.36,0.47,0.52,0.58;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
CA_7	(4.93,5.94,7.89,8.81;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1)	(0.10,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)
	(5.13,6.14,7.69,8.63;0.8,0.8)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.5;0.9,0.9)
CA_8	(3.41,4.43,6.45,7.45;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1)	(0.56,0.75,0.8,0.93;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)
	(3.61,4.63,6.25,7.25;0.8,0.8)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.73,0.8,0.85;0.9,0.9)0,0.9	(0.66,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
CA_9	(5.21,6.23,8.04,8.81;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.10,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.10,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.83,0.95,0.97,1;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)
	(5.42,6.44,7.84,8.66;0.8,0.8)	(0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.9,0.95,0.97,0.98;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
CA_10	(4.22,5.24,7.27,8.28;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1)	(0.56,0.75,0.8,0.93;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)
	(4.42,5.45,7.07,8.08;0.8,0.8)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.73,0.8,0.85;0.9;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.66,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.6,0.66;0.9,0.9)
CA_11	(5.92,6.93,8.49,9;1,1)	(0.56,0.75,0.8,0.93;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.74,0.89,0.91,0.97;1,1)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)
	(6.12,7.13,8.28,8.90;0.8,0.8)	(0.66,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.66,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
CA_12	(6.26,7.27,8.65,9;1,1)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)	(0,0.14,0.2,0.36;1,1)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.36,0.56,0.6,0.76;1,1)
	(6.46,7.47,8.45,8.93;0.8,0.8)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.08,0.14,0.2,0.25;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.6,0.66;0.9,0.9)
CA_13	(6.08,7.10,8.57,9;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0,0.21,0.26,0.42;1,1)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.53,0.71,0.76,0.89;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)
	(6.29,7.30,8.37,8.92;0.8,0.8)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.13,0.21,0.26,0.32;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.63,0.71,0.76,0.82;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.6,0.66;0.9,0.9)
CA_14	(4.53,5.55,7.52,8.45;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.29,0.53,0.58,0.74;1,1)	(0.53,0.71,0.76,0.89;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1)	(0.56,0.75,0.8,0.93;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)
	(4.73,5.76,7.32,8.27;0.8,0.8)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.42,0.53,0.58,0.63;0.9,0.9)	(0.63,0.71,0.76,0.82;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.66,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.5,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)
CA_15	(4.99,6.03,7.85,8.63;1,1)	(0,0.1,0.15,0.3;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0,0.21,0.26,0.42;1,1)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)
	(5.20,6.23,7.65,8.48;0.8,0.8)	(0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.13,0.21,0.26,0.32;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
CA_16	(5.36,6.38,8.12,8.81;1,1)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.56,0.75,0.8,0.93;1,1)
	(5.57,6.59,7.92,8.68;0.8,0.8)	(0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.66,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)
CA_17	(5.43,6.48,8.09,8.63;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)
	(5.64,6.68,7.89,8.53;0.8,0.8)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.6,0.66;0.9,0.9)
CA_18	(4.16,5.19,7.17,8.11;1,1)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.56,0.75,0.8,0.93;1,1)
	(4.36,5.40,6.96,7.92;0.8,0.8)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.66,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)
CA_19	(5.51,6.54,8.20,8.81;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)
	(5.72,6.74,8.00,8.69;0.8,0.8)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)
CA_20	(4.86,5.88,7.78,8.63;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1)	(0.56,0.75,0.8,0.93;1,1)
	(5.06,6.09,7.57,8.46;0.8,0.8)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.16,0.25,0.31,0.36;0.9,0.9)	(0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0

CA_5	(0,0,0,0.21;1,1) (0,0,0,0.27;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0,0.21,0.26,0.42;1,1) (0.13,0.21,0.26,0.32;0.9,0.9)	(0,0,0,0.25;1,1) (0,0,0,0.34;0.9,0.9)	(0,0,0,0.21;1,1) (0,0,0,0.27;0.9,0.9)	(0,0.21,0.26,0.42;1,1) (0.13,0.21,0.26,0.32;0.9,0.9)	(0,0,0,0.21;1,1) (0,0,0,0.27;0.9,0.9)	(0,0,0,0.14;1,1) (0,0,0,0.37;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
CA_6	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.25,0.47,0.52,0.68;1,1) (0.36,0.47,0.52,0.58;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.0,1,0.15,0.3;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
CA_7	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0,0.17,0.23,0.4;1,1) (0.1,0.17,0.23,0.29;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.47,0.67,0.72,0.86;1,1) (0.58,0.67,0.72,0.77;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)
CA_8	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)
CA_9	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.56,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.66,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
CA_1	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.25,0.47,0.52,0.68;1,1) (0.36,0.47,0.52,0.58;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)
CA_11	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)
CA_12	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)
CA_13	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.0,1,0.15,0.3;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)
CA_14	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)
CA_15	(0,0.21,0.26,0.42;1,1) (0.13,0.21,0.26,0.32;0.9,0.9)	(0,0,0,0.29;1,1) (0,0,0,0.43;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0,0.14,0.2,0.36;1,1) (0.08,0.14,0.2,0.25;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.25,0.47,0.52,0.68;1,1) (0.36,0.47,0.52,0.58;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.70;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
CA_16	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.4,0.6,0.65,0.79;1,1) (0.5,0.6,0.65,0.7;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)
CA_17	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)
CA_18	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)
CA_19	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)
CA_20	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0,0.21,0.26,0.42;1,1) (0.13,0.21,0.26,0.32;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
CA_21	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)
CA_22	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)
CA_23	(0,0.21,0.26,0.42;1,1) (0.13,0.21,0.26,0.32;0.9,0.9)	(0.42,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.52,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0,0.21,0.26,0.42;1,1) (0.13,0.21,0.26,0.32;0.9,0.9)	(0,0.14,0.2,0.36;1,1) (0.08,0.14,0.2,0.25;0.9,0.9)	(0,0.1,0.15,0.3;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0,0.1,0.15,0.3;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0.9,0.9)
CA_24	(0.47,0.67,0.72,0.86;1,1) (0.58,0.67,0.72,0.77;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.29,0.53,0.58,0.74;1,1) (0.42,0.53,0.58,0.63;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0.9,0.9)	(0.36,0.56,0.61,0.76;1,1) (0.46,0.56,0.61,0.66;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)

Табела 27. Резултати анализе сложености имплементације

PLM функционална подручја		Композитна мера сложености пројеката ($\tilde{\epsilon}_j$)	Дефазификоване вредности
FP_1	Product Structure Management	(1.580,3.077,4.406,6.109;1,1) (2.163,3.182,4.292,5.183;0.8,0.8)	3.7507
FP_2	Product Configuration Management	(2.010,3.595,5.093,6.826;1,1) (2.618,3.719,4.960,5.928;0.8,0.8)	4.3439
FP_3	Design Release and Change Management	(1.673,3.198,4.551,6.275;1,1) (2.257,3.307,4.434,5.332;0.8,0.8)	3.8793
FP_4	Classification Management	(0.834,2.230,3.325,4.969;1,1) (1.420,2.307,3.238,4.027;0.8,0.8)	2.7971
FP_5	Product Document Management	(1.155,2.579,3.767,5.400;1,1) (1.731,2.667,3.669,4.498;0.8,0.8)	3.1856
FP_6	Requirement Management	(1.642,3.174,4.527,6.240;1,1) (2.234,3.282,4.410,5.310;0.8,0.8)	3.8529
FP_7	Systems Architecture Management	(2.590,4.200,5.836,7.456;1,1) (3.225,4.343,5.685,6.695;0.8,0.8)	5.0017
FP_8	Cross-domain Product Design Collaboration	(2.014,3.605,5.080,6.822;1,1) (2.623,3.727,4.949,5.903;0.8,0.8)	4.3404
FP_9	Simulation Process and Data Management	(2.024,3.637,5.126,6.897;1,1) (2.631,3.761,4.993,5.954;0.8,0.8)	4.3777
FP_10	Digital Manufacturing/Bill of Processes	(1.368,2.798,4.023,5.701;1,1) (1.938,2.894,3.919,4.835;0.8,0.8)	3.4389
FP_11	3D Visualization and Digital Mockup	(1.386,2.830,4.057,5.787;1,1) (1.956,2.926,3.953,4.936;0.8,0.8)	3.4855
FP_12	Manufacturing Process Planning	(1.679,3.236,4.601,6.345;1,1) (2.282,3.346,4.482,5.387;0.8,0.8)	3.9202
FP_13	Service Engineering	(1.167,2.558,3.728,5.425;1,1) (1.724,2.646,3.631,4.549;0.8,0.8)	3.1852
FP_14	Environmental Compliance Management	(2.086,3.590,5.035,6.732;1,1) (2.666,3.712,4.905,5.916;0.8,0.8)	4.3336
FP_15	Supply Chain Collaboration and Source Management	(1.839,3.411,4.834,6.575;1,1) (2.442,3.528,4.709,5.640;0.8,0.8)	4.1225
FP_16	Quality Planning and Management	(1.581,3.069,4.364,6.093;1,1) (2.150,3.174,4.251,5.197;0.8,0.8)	3.7385
FP_17	Analytics and Reporting	(0.717,1.923,2.881,4.450;1,1) (1.206,1.989,2.807,3.634;0.8,0.8)	2.4601
FP_18	Program and Project Management	(1.368,2.858,4.110,5.782;1,1) (1.958,2.955,4.004,4.857;0.8,0.8)	3.4876
FP_19	Product Cost Management	(1.175,2.658,3.864,5.544;1,1) (1.765,2.749,3.764,4.599;0.8,0.8)	3.2660

8.4 Анализа ризика имплементације

Анализа ризика у склопу студије случаја се ослања на модел који је у оквиру истраживања установљен и детаљно представљен у потпоглављу 7.7.2. Модел систематизује факторе ризика као неизвесне догађаје/ситуације које у околностима специфичним за пројекте имплементације PLM-а поседују потенцијал да генеришу одступања у односу на циљеве пројекта, укључујући укупно 20 фактора сублимираних у пет категорија: ризици повезани са технологијама, ризици треће стране, ризици повезани са корисницима, ризици повезани са управљањем пројектима и ризици повезани са процесима. Имајући у виду да се ради о појавама стохастичке природе, анализа ризика се заснива на пробаблистичким приступу, при чему се полази од премисе да се ради о мерљивим категоријама, које се могу предвидети са задовољавајућом поузданости на основу предикције вероватноће настанка и очекиваних утицаја на циљане вредности пројекта. Процене предвиђене моделом су изведене од стране интердисциплинарног тима који укључује запослене ППС-а са одговарајућим познавањем интерних процеса, оперативних околности предузећа и ширих контекстуалних услова, аналитичаре са искуством у имплементацији PLM-а и представнике академске заједнице.

Утврђивање квантитативних мера озбиљности ризика на нивоу појединачних фактора

Мере озбиљности ризика ($\tilde{v}_i$) су пројектоване на основу предикције вероватноће појаве ризичног догађаја/ситуације ($\tilde{p}_i$) и озбиљности последица које генерише ($\tilde{z}_{ij}$). Поменуте варијабле аналитичари изводе користећи IT2TrF скале инспирисане Harrington-овим коефицијентом (табеле 16 и 17). Скале садрже лингвистичке карактеризације које описују вероватноћу појаве ризика, попут *вероватноћа појаве ризика је мала али ипак постоји*, *загарантован настанак ризика* и сл. или озбиљност последица у зависности од тога да ли се рад услед наступања ризика у околностима специфичним за пројекте имплементације PLM-а у потпуности обуставља или ће пројекат бити завршен са мањим одступањима у односу на предвиђене циљеве и сл. Имајући у виду да се лингвистичке варијабле коришћене за описивање ризика не могу описати егзактним нумеричким вредностима, већ се због инхерентних несигурности морају третирали као нејасне, усваја се теорија IT2F скупова као прикладан оквир за математичко описивање нејасних преференција, што омогућава да се ове варијабле третирају до приближне тачности. Мере озбиљности ризика на нивоу појединачних фактора се утврђују према (56). Ове процене се изводе за појединачна PLM функционална подручја и представљене су у табели 28.

Извођење квантитативне мере укупне изложености ризику на нивоу појединачних PLM функционалних подручја

Укупна изложеност ризику ($\tilde{v}_j$) се изводи на основу формуле (57), која сублимира релативне тежине ризика утврђене на нивоу појединачних фактора, које се у моделу третирају као мера озбиљности ризика. Резултати су представљени у табели 29. Према резултатима анализе највећу изложеност ризику показују функционална подручја *Systems Architecture Management* и *Cross-domain Product Design Collaboration*. При чему се у случају поменутих функционалних подручја највећа мера озбиљности процењује за факторе ризика као што су организациона незрелост за усвајање нових технологија и технички проблеми током имплементације, укључујући и проблеме везане за миграцију података. Висока изложеност ризику се процењује и за функционална подручја *Environmental Compliance Management*, *Quality Planning and Management* и *Supply Chain Collaboration and Source Management*. При чему се за ова функционална подручја, према анализи, везују ризици који се односе на организациону незрелост за усвајање нових технологија и неусаглашеност успостављених функција и корисничких интерфејса са пословним потребама и проблеме у прилагођавању система. Са друге стране, најнижа изложеност ризику се процењује за функционално подручје *Program and Project Management*.

Табела 28. Мере озбиљности ризика на нивоу појединачних фактора

Фактори ризика	Мере озбиљности ризика ($\tilde{v}_{ij}$)								
	FP_1	FP_2	FP_3	FP_4	FP_5	FP_6	FP_7	FP_8	FP_9
RF_1	(0.61,1.58,3.14,63;1,1) (0.87,1.71,2.96,3.92;0,8,0,8)	(0.21,0.84,1.89,3.13;1,1) (0.38,0.93,1.8,2.52;0,8,0,8)	(0.43,1.34,2.48,3.92;1,1) (0.73,1.43,2.38,3.17;0,8,0,8)	(0,0.42,1.06,2.11;1,1) (0.15,0.46,1,1.52;0,8,0,8)	(0.62,1.59,2.88,4.38;1,1) (0.92,1.69,2.77,3.63;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)	(1.3,2.59,4.41,6.04;1,1) (1.72,2.75,4.25,5.38;0,8,0,8)	(0.98,2.12,3.77,5.36;1,1) (1.33,2.26,3.62,4.66;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)
RF_2	(0.21,0.9,1.86,3.13;1,1) (0.42,0.97,1.78,2.47;0,8,0,8)	(0.43,1.34,2.48,3.92;1,1) (0.73,1.43,2.38,3.17;0,8,0,8)	(0.88,2.11,3.49,5.18;1,1) (1.33,2.22,3.37,4.32;0,8,0,8)	(0,0.33,0.66,1.23;1,1) (0.14,0.35,0.64,0.90;0,8,0,8)	(0.51,1.59,2.71,4.26;1,1) (0.92,1.67,2.62,3.43;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)	(1.1,2.26,4,5.56;1,1) (1.47,2.41,3.85,4.93;0,8,0,8)	(1.99,3.42,5.26,7.10;1,1) (2.48,3.57,5.1,6.28;0,8,0,8)	(0.21,0.53,0.75,1.07;1,1) (0.34,0.55,0.74,0.88;0,8,0,8)
RF_3	(0.1,0.38,0.56,0.85;1,1) (0.21,0.39,0.55,0.67;0,8,0,8)	(0.14,0.71,1.63,2.80;1,1) (0.3,0.78,1.55,2.20;0,8,0,8)	(0.1,0.48,0.88,1.46;1,1) (0.23,0.51,0.85,1.14;0,8,0,8)	(0,0.2,0.6,1.5;1,1) (0.06,0.22,0.57,0.96;0,8,0,8)	(0,0.16,0.38,0.88;1,1) (0.06,0.17,0.37,0.57;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)	(1.68,3.06,4.75,6.53;1,1) (2.17,3.19,4.6,5.70;0,8,0,8)	(1.27,2.5,4.06,5.79;1,1) (1.68,2.63,3.92,4.94;0,8,0,8)	(0.62,1.59,2.88,4.38;1,1) (0.92,1.69,2.77,3.63;0,8,0,8)
RF_4	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)	(0.14,0.71,1.63,2.80;1,1) (0.3,0.78,1.55,2.20;0,8,0,8)	(1.07,2.24,3.66,5.33;1,1) (1.47,2.35,3.54,4.49;0,8,0,8)	(0.0,14,0.2,0.36;1,1) (0.08,0.14,0.2,0.25;0,8,0,8)	(0.06,6,1.38,2.64;1,1) (0.29,0.7,1.33,1.92;0,8,0,8)	(0.21,0.9,1.86,3.13;1,1) (0.42,0.97,1.78,2.47;0,8,0,8)	(2.36,3.91,5.79,7.72;1,1) (2.92,4.07,5.63,6.84;0,8,0,8)	(0.9,2,3,3,4.90;1,1) (1.28,2.1,3.19,4.08;0,8,0,8)	(0.0,2,0.6,1.50;1,1) (0.06,0.22,0.57,0.96;0,8,0,8)
RF_5	(0,0,0,0;1,1) (0,0,0,0;0,8,0,8)	(0,0,0,0;1,1) (0,0,0,0;0,8,0,8)	(0.43,1.26,2.52,3.92;1,1) (0.67,1.36,2.41,3.23;0,8,0,8)	(0,0,0,0;1,1) (0,0,0,0;0,8,0,8)	(0.3,1.13,2.13,3.50;1,1) (0.58,1.2,2.05,2.77;0,8,0,8)	(0,0.23,0.5,1.04;1,1) (0.09,0.24,0.48,0.72;0,8,0,8)	(0.36,1.12,2.44,3.81;1,1) (0.55,1.23,2.32,3.17;0,8,0,8)	(0.62,1.59,2.88,4.38;1,1) (0.92,1.69,2.77,3.63;0,8,0,8)	(0.21,0.42,0.47,0.63;1,1) (0.32,0.42,0.47,0.52;0,8,0,8)
RF_6	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0,8,0,8)	(0.74,1.89,3.15,4.76;1,1) (1.16,1.98,3.04,3.92;0,8,0,8)	(1.07,2.24,3.66,5.33;1,1) (1.47,2.35,3.54,4.49;0,8,0,8)	(0.0,18,0.32,0.61;1,1) (0.08,0.19,0.31,0.43;0,8,0,8)	(0,0.43,1.06,2.23;1,1) (0.17,0.47,1.01,1.56;0,8,0,8)	(0.1,0.3,0.35,0.50;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.40;0,8,0,8)	(3.5,5.26,7.05,8.69;1,1) (4.21,5.42,6.88,7.95;0,8,0,8)	(1.68,2.99,4.78,6.53;1,1) (2.11,3.14,4.62,5.76;0,8,0,8)	(0.14,0.36,0.41,0.56;1,1) (0.25,0.36,0.41,0.46;0,8,0,8)
RF_7	(0.36,1.22,2.38,3.81;1,1) (0.62,1.31,2.28,3.08;0,8,0,8)	(0,0.46,1.04,2.23;1,1) (0.18,0.49,1,1.53;0,8,0,8)	(1.04,2.47,3.81,5.63;1,1) (1.61,2.57,3.71,4.66;0,8,0,8)	(0,0,0,0;1,1) (0,0,0,0;0,8,0,8)	(0.1,0.38,0.56,0.85;1,1) (0.21,0.39,0.55,0.67;0,8,0,8)	(0,0.65,1.58,2.87;1,1) (0.27,0.72,1.5,2.20;0,8,0,8)	(0.74,1.89,3.15,4.76;1,1) (1.16,1.98,3.04,3.92;0,8,0,8)	(1.27,2.62,4,5.79;1,1) (1.77,2.72,3.89,4.85;0,8,0,8)	(0,0.42,1.06,2.11;1,1) (0.15,0.46,1,1.52;0,8,0,8)
RF_8	(0.3,1.06,2.17,3.50;1,1) (0.53,1.15,2.07,2.83;0,8,0,8)	(0.3,1.06,2.17,3.50;1,1) (0.53,1.15,2.07,2.83;0,8,0,8)	(0.21,0.67,1.19,1.83;1,1) (0.36,0.71,1.15,1.49;0,8,0,8)	(0,0.58,1.43,2.64;1,1) (0.24,0.64,1.36,2.00;0,8,0,8)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1) (0.06,0.22,0.57,0.96;0,8,0,8)	(0.1,0.3,0.35,0.50;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.40;0,8,0,8)	(1.58,2.85,4.58,6.22;1,1) (2.03,2.99,4.43,5.54;0,8,0,8)	(1.42,2.67,4.31,6.00;1,1) (1.85,2.8,4.17,5.23;0,8,0,8)	(0.61,1.68,3.05,4.63;1,1) (0.96,1.79,2.93,3.84;0,8,0,8)
RF_9	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1) (0.46,1.02,1.76,2.42;0,8,0,8)	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1) (0.46,1.02,1.76,2.42;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)	(0,0.42,1.06,2.11;1,1) (0.15,0.46,1,1.52;0,8,0,8)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1) (0.06,0.22,0.57,0.96;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)	(0.62,1.59,2.88,4.38;1,1) (0.92,1.69,2.77,3.63;0,8,0,8)	(0.62,1.59,2.88,4.38;1,1) (0.92,1.69,2.77,3.63;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)
RF_10	(0,0.46,1.04,2.23;1,1) (0.18,0.49,1,1.53;0,8,0,8)	(0,0.42,1.06,2.11;1,1) (0.15,0.46,1,1.52;0,8,0,8)	(0,0.16,0.38,0.88;1,1) (0.06,0.17,0.37,0.57;0,8,0,8)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1) (0.06,0.22,0.57,0.96;0,8,0,8)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1) (0.06,0.22,0.57,0.96;0,8,0,8)	(0,0.13,0.24,0.51;1,1) (0.05,0.13,0.23,0.34;0,8,0,8)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1) (0.81,1.49,2.36,3.11;0,8,0,8)	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1) (0.46,1.02,1.76,2.42;0,8,0,8)	(0,0,0,1.16;1,1) (0,0,0,1.46;0,8,0,8)
RF_11	(0.3,1.06,2.17,3.50;1,1) 0.53,1.15,2.07,2.83;0,8,0,8)	(0.43,1.34,2.48,3.92;1,1) (0.73,1.43,2.38,3.17;0,8,0,8)	(0.21,0.84,1.89,3.13;1,1) (0.38,0.93,1.8,2.52;0,8,0,8)	(0,0.58,1.43,2.64;1,1) (0.24,0.64,1.36,2.00;0,8,0,8)	(0,0.52,1.21,2.36;1,1) (0.21,0.57,1.15,1.71;0,8,0,8)	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1) (0.46,1.02,1.76,2.42;0,8,0,8)	(1.04,2.47,3.81,5.63;1,1) (1.61,2.57,3.71,4.66;0,8,0,8)	(0.88,2.21,3.44,5.18;1,1) (1.4,2.3,3.34,4.23;0,8,0,8)	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1) (0.46,1.02,1.76,2.42;0,8,0,8)
RF_12	(0.51,1.59,2.71,4.26;1,1) (0.92,1.67,2.62,3.43;0,8,0,8)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1) (0.81,1.49,2.36,3.11;0,8,0,8)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1) (0.81,1.49,2.36,3.11;0,8,0,8)	(0,0.23,0.5,1.04;1,1) (0.09,0.24,0.48,0.72;0,8,0,8)	(0,0.43,1.06,2.23;1,1) (0.17,0.47,1.01,1.56;0,8,0,8)	(0,0.54,1.21,2.49;1,1) (0.23,0.58,1.17,1.75;0,8,0,8)	(0,0.68,1.39,2.79;1,1) (0.32,0.72,1.34,1.96;0,8,0,8)	(0.72,2.09,3.28,5.03;1,1) (1.28,2.17,3.19,4.07;0,8,0,8)	(0.21,0.9,1.86,3.13;1,1) (0.42,0.97,1.78,2.47;0,8,0,8)
RF_13	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1) 1.21,2.12,3.41,4.40;0,8,0,8)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1) (0.81,1.49,2.36,3.11;0,8,0,8)	(0.14,0.71,1.63,2.80;1,1) (0.3,0.78,1.55,2.20;0,8,0,8)	(0,0.42,1.06,2.11;1,1) (0.15,0.46,1,1.52;0,8,0,8)	(0,0.33,0.66,1.23;1,1) (0.14,0.35,0.64,0.90;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)	(1.23,2.83,4.2,6.12;1,1) (1.89,2.92,4.09,5.08;0,8,0,8)	(0.62,1.69,2.84,4.38;1,1) (1.02,1.77,2.74,3.56;0,8,0,8)	(0.62,1.69,2.84,4.38;1,1) (1.02,1.77,2.74,3.56;0,8,0,8)
RF_14	(2.23,3.73,5.55,7.35;1,1) (2.81,3.88,5.4,6.58;0,8,0,8)	(0.61,1.68,3.05,4.63;1,1) (0.96,1.79,2.93,3.84;0,8,0,8)	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1) (0.46,1.02,1.76,2.42;0,8,0,8)	(0,0.92,1.45,2.28;1,1) (0.57,0.95,1.42,1.81;0,8,0,8)	(2.36,4.01,5.75,7.72;1,1) (3,4.14,5.61,6.77;0,8,0,8)	(0,0.1,0.15,0.30;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.20;0,8,0,8)	(1.5,2.87,4.47,6.30;1,1) (1.97,2.99,4.33,5.39;0,8,0,8)	(2.64,4.18,6.16,7.99;1,1) (3.21,4.34,5.98,7.24;0,8,0,8)	(0.43,1.34,2.48,3.92;1,1) (0.73,1.43,2.38,3.17;0,8,0,8)
RF_15	(0,0.52,1.21,2.36;1,1) (0.21,0.57,1.15,1.71;0,8,0,8)	(0,0.32,0.79,1.88;1,1) (0.12,0.34,0.76,1.21;0,8,0,8)	(0,0,0,1.3;1,1) (0,0,0,1.64;0,8,0,8)	(0,0.0,1.55;1,1) (0,0,0,1.30;0,8,0,8)	(0,0,0,0.36;1,1) (0,0,0,0.46;0,8,0,8)	(0,0,0,1.04;1,1) (0,0,0,1.30;0,8,0,8)	(1.78,3.36,4.88,6.85;1,1) (2.38,3.47,4.76,5.81;0,8,0,8)	(1.07,2.29,3.63,5.33;1,1) (1.5,2.39,3.52,4.45;0,8,0,8)	(0.3,1.2,2.1,3.50;1,1) (0.64,1.26,2.03,2.72;0,8,0,8)
RF_16	(0.88,1.99,3.54,5.18;1,1) (0.88,1.99,3.54,5.18;0,8,0,8)	(0.51,1.41,2.79,4.26;1,1) (0.76,1.53,2.67,3.56;0,8,0,8)	(0,0.36,0.91,1.99;1,1) (0.13,0.39,0.87,1.36;0,8,0,8)	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1) (0.46,1.02,1.76,2.42;0,8,0,8)	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1) (0.46,1.02,1.76,2.42;0,8,0,8)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1) (0.06,0.22,0.57,0.96;0,8,0,8)	(0.76,1.91,3.44,4.97;1,1) (1.16,2.03,3.31,4.31;0,8,0,8)	(2.63,4.07,6,7.35;1,1) (3.07,4.25,5.82,6.88;0,8,0,8)	(0,0.42,1.06,2.11;1,1) (0.15,0.46,1,1.52;0,8,0,8)
RF_17	(1.27,2.62,4,5.79;1,1) (1.77,2.72,3.89,4.85;0,8,0,8)	(0.9,2,3,3,4.90;1,1) (1.28,2.1,3.19,4.08;0,8,0,8)	(0,0.46,1.04,2.23;1,1) (0.18,0.49,1,1.53;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)	(0.61,1.75,3,4.63;1,1) (1.01,1.85,2.9,3.77;0,8,0,8)	(0,0.32,0.79,1.88;1,1) (0.12,0.34,0.76,1.21;0,8,0,8)	(1.04,2.47,3.81,5.63;1,1) (1.61,2.57,3.71,4.66;0,8,0,8)	(2.36,4.01,5.75,7.72;1,1) (3,4.14,5.61,6.77;0,8,0,8)	(0.61,1.75,3,4.63;1,1) (1.01,1.85,2.9,3.77;0,8,0,8)
RF_18	(0.36,1.12,2.44,3.81;1,1) (0.55,1.23,2.32,3.17;0,8,0,8)	(0.9,2,3,3,4.90;1,1) (1.28,2.1,3.19,4.08;0,8,0,8)	(0.74,1.89,3.15,4.76;1,1) (1.16,1.98,3.04,3.92;0,8,0,8)	(0,0.99,1.84,3.30;1,1) (0.51,1.04,1.78,2.47;0,8,0,8)	(0,0.42,1.06,2.11;1,1) (0.15,0.46,1,1.52;0,8,0,8)	(0,0.52,1.21,2.36;1,1) (0.21,0.57,1.15,1.71;0,8,0,8)	(2.11,3.75,5.41,7.45;1,1) (2.73,3.88,5.28,6.40;0,8,0,8)	(0.9,2,3,3,4.90;1,1) (1.28,2.1,3.19,4.08;0,8,0,8)	(0.066,1.38,2.64;1,1) (0.29,0.7,1.33,1.92;0,8,0,8)
RF_19	(0.3,1.13,2.13,3.50;1,1) (0.58,1.2,2.05,2.77;0,8,0,8)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1) (0.81,1.49,2.36,3.11;0,8,0,8)	(0,0.46,1.04,2.23;1,1) (0.18,0.49,1,1.53;0,8,0,8)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1) (0.06,0.22,0.57,0.96;0,8,0,8)	(0,0.38,0.74,1.42;1,1) (0.18,0.4,0.72,1.01;0,8,0,8)	(0,0.4,0.9,2.10;1,1) (0.16,0.42,0.87,1.36;0,8,0,8)	(2.23,4.07,5.28,6.85;1,1) (2.96,4.18,5.16,5.90;0,8,0,8)	(1.58,3.17,4.32,5.79;1,1) (2.2,3.28,4.21,4.92;0,8,0,8)	(0.42,1.57,2.54,4.14;1,1) (0.88,1.63,2.47,3.23;0,8,0,8)
RF_20	(0.74,1.78,3.2,4.76;1,1) (1.06,1.89,3.07,4.00;0,8,0,8)	(1.07,2.24,3.66,5.33;1,1) (1.47,2.35,3.54,4.49;0,8,0,8)	(0.21,0.9,1.86,3.13;1,1) (0.42,0.97,1.78,2.47;0,8,0,8)	(0.1,0.38,0.56,0.85;1,1) (0.21,0.39,0.55,0.67;0,8,0,8)	(0.1,0.48,0.88,1.46;1,1) (0.23,0.51,0.85,1.14;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)	(1.27,2.56,4.03,5.79;1,1) (1.72,2.67,3.9,4.89;0,8,0,8)	(1.07,2.29,3.63,5.33;1,1) (1.5,2.39,3.52,4.45;0,8,0,8)	(0.62,1.59,2.88,4.38;1,1) (0.92,1.69,2.77,3.63;0,8,0,8)

Фактори ризика	Мере озбиљности ризика ($\tilde{v}_{ij}$)									
	FP_10	FP_11	FP_12	FP_13	FP_14	FP_15	FP_16	FP_17	FP_18	FP_19
RF_1	(1.23,2.77,4.23,6.12;1,1) (1.84,2.87,4.11,5.13;0,8,0,8)	(0,0.1,0.15,0.30;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.20;0,8,0,8)	(0.88,2.21,3.44,5.18;1,1) (1.4,2.3,3.34,4.23;0,8,0,8)	(0.42,0.99,1.7,2.42;1,1) (0.59,1.06,1.65,2.07;0,8,0,8)	(1.5,2.87,4.47,6.30;1,1) (1.97,2.99,4.33,5.39;0,8,0,8)	(1.27,2.5,4.06,5.79;1,1) (1.68,2.63,3.92,4.94;0,8,0,8)	(0.88,2.11,3.49,5.18;1,1) (1.33,2.22,3.37,4.32;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)	(0.0.66,1.38,2.64;1,1) (0.29,0.7,1.33,1.92;0,8,0,8)	(0.36,1.19,2.40,3.81;1,1) (0.6,1.29,2.3,3.11;0,8,0,8)
RF_2	(1.04,2.47,3.81,5.63;1,1) (1.61,2.57,3.71,4.66;0,8,0,8)	(0,0.42,1.06,2.11;1,1) (0.15,0.46,1,1.52;0,8,0,8)	(1.23,2.83,4.2,6.12;1,1) (1.89,2.92,4.09,5.08;0,8,0,8)	(0.21,0.84,1.89,3.13;1,1) (0.38,0.93,1.8,2.52;0,8,0,8)	(1.5,2.87,4.47,6.30;1,1) (1.97,2.99,4.33,5.39;0,8,0,8)	(0.88,1.99,3.54,5.18;1,1) (1.21,2.12,3.41,4.40;0,8,0,8)	(1.78,3.36,4.88,6.85;1,1) (2.38,3.47,4.76,5.81;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1) (0.24,0.66,1.33,1.92;0,8,0,8)	(0,0.74,1.63,2.95;1,1) (0.33,0.8,1.56,2.24;0,8,0,8)
RF_3	(0.62,1.69,2.84,4.38;1,1) (1.02,1.77,2.74,3.56;0,8,0,8)	(0.1,0.3,0.35,0.50;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.40;0,8,0,8)	(0.74,1.93,3.12,4.76;1,1) (1.19,2.02,3.03,3.88;0,8,0,8)	(0,0.42,1.06,2.11;1,1) (0.15,0.46,1,1.52;0,8,0,8)	(1.99,3.5,5.22,7.10;1,1) (2.55,3.64,5.08,6.22;0,8,0,8)	(0.21,0.84,1.89,3.13;1,1) (0.38,0.93,1.8,2.52;0,8,0,8)				

Фактори ризика	Мере озбиљности ризика ($\tilde{v}_{ij}$)									
	FP_10	FP_11	FP_12	FP_13	FP_14	FP_15	FP_16	FP_17	FP_18	FP_19
RF_9	(0.14,0.76,1.6,2.80;1,1)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1)	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1)	(0.62,1.59,2.88,4.38;1,1)	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1)	(0.3,1.13,2.13,3.50;1,1)	(0,0.26,0.42,0.72;1,1)	(0,0.13,0.24,0.51;1,1)	(0,0.16,0.38,0.88;1,1)
	(0.33,0.82,1.53,2.16;0.8,0.8)	(0.06,0.22,0.57,0.96;0.8,0.8)	(0.46,1.02,1.76,2.42;0.8,0.8)	(0.24,0.66,1.33,1.92;0.8,0.8)	(0.92,1.69,2.77,3.63;0.8,0.8)	(0.46,1.02,1.76,2.42;0.8,0.8)	(0.58,1.2,2.05,2.77;0.8,0.8)	(0.13,0.27,0.41,0.54;0.8,0.8)	(0.05,0.13,0.23,0.34;0.8,0.8)	(0.06,0.17,0.37,0.57;0.8,0.8)
RF_10	(0,0,0,1.30;1,1)	(0,0,0,1.04;1,1)	(0,0.66,1.38,2.64;1,1)	(0,0.52,1.09,2.48;1,1)	(0,1.48,2.45,4.25;1,1)	(0,0.66,1.38,2.64;1,1)	(0,0.76,1.52,2.87;1,1)	(0,0,0,1.30;1,1)	(0,0,0,0.36;1,1)	(0,0,,1.04;1,1)
	(0,0,0,1.64;0.8,0.8)	(0,0,0,1.30;0.8,0.8)	(0.29,0.7,1.33,1.92;0.8,0.8)	(0.22,0.54,1.06,1.62;0.8,0.8)	(0.83,1.53,2.39,3.20;0.8,0.8)	(0.29,0.7,1.33,1.92;0.8,0.8)	(0.34,0.8,1.47,2.09;0.8,0.8)	(0,0,0,1.64;0.8,0.8)	(0,0,0,0.46;0.8,0.8)	(0,0,0,1.30;0.8,0.8)
RF_11	(0.1,1.17,2.14,3.69;1,1)	(0,0,0,1.04;1,1)	(0.1,0.9,1.92,3.49;1,1)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1)	(0.61,1.86,2.96,4.63;1,1)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1)
	(0.64,1.23,2.07,2.83;0.8,0.8)	(0,0,0,1.30;0.8,0.8)	(0.56,1.13,1.86,2.56;0.8,0.8)	(0.24,0.66,1.33,1.92;0.8,0.8)	(1.11,1.94,2.88,3.70;0.8,0.8)	(0.81,1.49,2.36,3.11;0.8,0.8)	(0.81,1.49,2.36,3.11;0.8,0.8)	(0.24,0.66,1.33,1.92;0.8,0.8)	(0.06,0.22,0.57,0.96;0.8,0.8)	(0.24,0.66,1.33,1.92;0.8,0.8)
RF_12	(0,0.29,0.8,1.78;1,1)	(0,0.68,1.39,2.79;1,1)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1)	(0,0.29,0.8,1.78;1,1)	(0.61,1.86,2.96,4.63;1,1)	(0,0.68,1.39,2.79;1,1)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1)	(0,0,0,0.14;1,1)	(0,0,0,0.85;1,1)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1)
	(0.1,0.32,0.76,1.21;0.8,0.8)	(0.32,0.72,1.34,1.96;0.8,0.8)	(0.81,1.49,2.36,3.11;0.8,0.8)	(0.1,0.32,0.76,1.21;0.8,0.8)	(1.11,1.94,2.88,3.70;0.8,0.8)	(0.32,0.72,1.34,1.96;0.8,0.8)	(0.81,1.49,2.36,3.11;0.8,0.8)	(0,0,0,0.37;0.8,0.8)	(0,0,0,2.23;0.8,0.8)	(0.06,0.22,0.57,0.96;0.8,0.8)
RF_13	(0,0.87,1.59,3.20;1,1)	(0,0,0,1.04;1,1)	(0,0.95,1.74,3.21;1,1)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1)	(1.23,2.83,4.2,6.12;1,1)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1)	(0.88,2.16,3.46,5.18;1,1)	(0.10,0.6,1.4,2.50;1,1)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1)
	(0.41,0.89,1.55,2.22;0.8,0.8)	(0,0,0,1.30;0.8,0.8)	(0.47,0.99,1.69,2.35;0.8,0.8)	(0.24,0.66,1.33,1.92;0.8,0.8)	(1.89,2.92,4.09,5.08;0.8,0.8)	(0.81,1.49,2.36,3.11;0.8,0.8)	(1.37,2.26,3.36,4.27;0.8,0.8)	(0.24,0.66,1.33,1.92;0.8,0.8)	(0.06,0.22,0.57,0.96;0.8,0.8)	(0.24,0.66,1.33,1.92;0.8,0.8)
RF_14	(0.43,1.34,2.48,3.92;1,1)	(0,0.33,0.66,1.23;1,1)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1)	(0.21,0.84,1.89,3.13;1,1)	(0,0.33,0.66,1.23;1,1)	(0.43,1.34,2.48,3.92;1,1)	(0.21,0.84,1.89,3.13;1,1)	(0,0.29,0.36,0.53;1,1)	(0,0.1,0.15,0.30;1,1)	(0,0.16,0.38,0.88;1,1)
	(0.73,1.43,2.38,3.17;0.8,0.8)	(0.14,0.35,0.64,0.90;0.8,0.8)	(0.24,0.66,1.33,1.92;0.8,0.8)	(0.38,0.93,1.8,2.52;0.8,0.8)	(0.14,0.35,0.64,0.90;0.8,0.8)	(0.73,1.43,2.38,3.17;0.8,0.8)	(0.38,0.93,1.8,2.52;0.8,0.8)	(0.2,0.29,0.36,0.42;0.8,0.8)	(0.05,0.1,0.15,0.20;0.8,0.8)	(0.06,0.17,0.37,0.57;0.8,0.8)
RF_15	(0.30,1.2,2.1,3.50;1,1)	(0,0.32,0.79,1.88;1,1)	(0.42,1.57,2.54,4.14;1,1)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1)	(0,0.4,0.9,2.10;1,1)	(0.88,2.21,3.44,5.18;1,1)	(0,0.4,0.9,2.10;1,1)	(0,0,0,0.50;1,1)	(0,0,0,0.50;1,1)	(0,0,0,1.23;1,1)
	(0.64,1.26,2.03,2.72;0.8,0.8)	(0.12,0.34,0.76,1.21;0.8,0.8)	(0.88,1.63,2.47,3.23;0.8,0.8)	(0.06,0.22,0.57,0.96;0.8,0.8)	(0.16,0.42,0.87,1.36;0.8,0.8)	(1.4,2.3,3.34,4.23;0.8,0.8)	(0.16,0.42,0.87,1.36;0.8,0.8)	(0,0,0,2.40;0.8,0.8)	(0,0,0,2.40;0.8,0.8)	(0,0,0,1.64;0.8,0.8)
RF_16	(0,0.58,1.43,2.64;1,1)	(0,0,0,2.49;1,1)	(0.21,0.9,1.86,3.13;1,1)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1)	(0,0.2,0.60,1.50;1,1)	(0.21,0.84,1.89,3.13;1,1)	(0.14,0.56,1.03,1.64;1,1)	(0,0,0,0;1,1)	(0,0,0,0;1,1)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1)
	(0.24,0.64,1.36,2.00;0.8,0.8)	(0,0,0,3.76;0.8,0.8)	(0.42,0.97,1.78,2.47;0.8,0.8)	(0.06,0.22,0.57,0.96;0.8,0.8)	(0.06,0.22,0.57,0.96;0.8,0.8)	(0.38,0.93,1.8,2.52;0.8,0.8)	(0.28,0.6,0.99,1.30;0.8,0.8)	(0,0,0,0;0.8,0.8)	(0,0,0,0;0.8,0.8)	(0.06,0.22,0.57,0.96;0.8,0.8)
RF_17	(0.3,1.13,2.13,3.50;1,1)	(0.30,1.13,2.13,3.50;1,1)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1)	(0,0.29,0.8,1.78;1,1)	(0,0.46,1.04,2.23;1,1)	(1.46,3.17,4.65,6.66;1,1)	(0.61,1.86,2.96,4.63;1,1)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1)	(0.10,0.6,1.4,2.50;1,1)	(0,0.49,1.17,2.42;1,1)
	(0.58,1.2,2.05,2.77;0.8,0.8)	(0.58,1.2,2.05,2.77;0.8,0.8)	(0.81,1.49,2.36,3.11;0.8,0.8)	(0.1,0.32,0.76,1.21;0.8,0.8)	(0.18,0.49,1.0,1.53;0.8,0.8)	(2.16,3.27,4.54,5.59;0.8,0.8)	(1.11,1.94,2.88,3.70;0.8,0.8)	(0.81,1.49,2.36,3.11;0.8,0.8)	(0.24,0.66,1.33,1.92;0.8,0.8)	(0.2,0.53,1.12,1.69;0.8,0.8)
RF_18	(0.74,1.89,3.15,4.76;1,1)	(0,0.46,1.04,2.23;1,1)	(0.62,1.69,2.84,4.38;1,1)	(0.1,25,2.11,3.80;1,1)	(1.04,2.42,3.84,5.63;1,1)	(1.46,3.17,4.65,6.66;1,1)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1)	(0,0.1,0.15,0.30;1,1)	(0,0.1,0.15,0.30;1,1)	(0,0.93,1.87,3.30;1,1)
	(1.16,1.98,3.04,3.92;0.8,0.8)	(0.18,0.49,1.0,1.53;0.8,0.8)	(1.02,1.77,2.74,3.56;0.8,0.8)	(0.66,1.29,2.06,2.79;0.8,0.8)	(1.57,2.52,3.72,4.71;0.8,0.8)	(1.65,2.61,3.69,4.61;0.8,0.8)	(2.16,3.27,4.54,5.59;0.8,0.8)	(0.24,0.66,1.33,1.92;0.8,0.8)	(0.05,0.1,0.15,0.20;0.8,0.8)	(0.46,0.99,1.8,2.52;0.8,0.8)
RF_19	(0.3,1.2,2.1,3.50;1,1)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1)	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1)	(0.43,1.42,2.44,3.92;1,1)	(0.21,0.95,1.83,3.13;1,1)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1)	(0,0.2,0.6,1.50;1,1)	(0.51,1.5,2.75,4.26;1,1)
	(0.64,1.26,2.03,2.72;0.8,0.8)	(0.24,0.66,1.33,1.92;0.8,0.8)	(0.81,1.49,2.36,3.11;0.8,0.8)	(0.06,0.22,0.57,0.96;0.8,0.8)	(0.46,1.02,1.76,2.42;0.8,0.8)	(0.81,1.49,2.36,3.11;0.8,0.8)	(0.46,1.02,1.76,2.42;0.8,0.8)	(0.06,0.22,0.57,0.96;0.8,0.8)	(0.06,0.22,0.57,0.96;0.8,0.8)	(0.84,1.6,2.64,3.49;0.8,0.8)
RF_20	(0.3,1.13,2.13,3.50;1,1)	(0.3,1.13,2.13,3.50;1,1)	(0.9,2.0,3.3,4.90;1,1)	(0,0.29,0.8,1.78;1,1)	(0.51,1.63,2.69,4.26;1,1)	(0.51,1.63,2.69,4.26;1,1)	(0.61,1.86,2.96,4.63;1,1)	(0.14,0.71,1.63,2.80;1,1)	(0.1,0.6,1.4,2.50;1,1)	(0.25,1.0,2.07,3.40;1,1)
	(0.58,1.2,2.05,2.77;0.8,0.8)	(0.58,1.2,2.05,2.77;0.8,0.8)	(1.28,2.1,3.19,4.08;0.8,0.8)	(0.1,0.32,0.76,1.21;0.8,0.8)	(0.95,1.7,2.61,3.39;0.8,0.8)	(0.95,1.7,2.61,3.39;0.8,0.8)	(1.11,1.94,2.88,3.70;0.8,0.8)	(0.3,0.78,1.55,2.20;0.8,0.8)	(0.24,0.66,1.33,1.92;0.8,0.8)	(0.48,1.09,1.97,2.72;0.8,0.8)

Табела 29. Резултати анализе ризика имплементације

PLM функционална подручја		Мере укупне изложености ризику пројеката ($\tilde{v}_j$)	Дефазификоване вредности
FP_1	Product Structure Management	(0.44,1.2,2.176,3.398;1,1) (0.694,1.275,2.094,2.772;0.8,0.8)	1.7674
FP_2	Product Configuration Management	(0.395,1.181,2.178,3.496;1,1) (0.661,1.256,2.094,2.804;0.8,0.8)	1.7712
FP_3	Design Release and Change Management	(0.363,1.078,1.964,3.229;1,1) (0.609,1.143,1.891,2.609;0.8,0.8)	1.6259
FP_4	Classification Management	(0.02,0.387,0.829,1.648;1,1) (0.175,0.415,0.795,1.217;0.8,0.8)	0.6999
FP_5	Product Document Management	(0.241,0.79,1.455,2.493;1,1) (0.444,0.836,1.403,1.935;0.8,0.8)	1.2129
FP_6	Requirement Management	(0.061,0.457,0.999,1.917;1,1) (0.198,0.493,0.956,1.448;0.8,0.8)	0.8314
FP_7	Systems Architecture Management	(1.331,2.646,4.11,5.799;1,1) (1.816,2.762,3.985,4.962;0.8,0.8)	3.4345
FP_8	Cross-domain Product Design Collaboration	(1.271,2.522,3.972,5.618;1,1) (1.714,2.637,3.847,4.807;0.8,0.8)	3.3069
FP_9	Simulation Process and Data Management	(0.271,0.923,1.700,2.849;1,1) (0.501,0.979,1.637,2.278;0.8,0.8)	1.4061
FP_10	Digital Manufacturing/Bill of Processes	(0.318,1.098,1.97,3.300;1,1) (0.617,1.159,1.9,2.631;0.8,0.8)	1.6398
FP_11	3D Visualization and Digital Mockup	(0.04,0.319,0.675,1.582;1,1) (0.144,0.341,0.648,1.350;0.8,0.8)	0.6664
FP_12	Manufacturing Process Planning	(0.486,1.494,2.556,4.058;1,1) (0.872,1.569,2.471,3.247;0.8,0.8)	2.1060
FP_13	Service Engineering	(0.14,0.674,1.377,2.478;1,1) (0.331,0.722,1.32,1.868;0.8,0.8)	1.1285
FP_14	Environmental Compliance Management	(0.935,2.052,3.173,4.69;1,1) (1.377,2.134,3.081,3.879;0.8,0.8)	2.6744
FP_15	Supply Chain Collaboration and Source Management	(0.631,1.678,2.844,4.383;1,1) (1.016,1.764,2.748,3.575;0.8,0.8)	2.3416
FP_16	Quality Planning and Management	(0.795,1.880,3.076,4.623;1,1) (1.198,1.969,2.978,3.818;0.8,0.8)	2.5530
FP_17	Analytics and Reporting	(0.09,0.463,0.975,1.798;1,1) (0.217,0.501,0.932,1.533;0.8,0.8)	0.8304
FP_18	Program and Project Management	(0.03,0.243,0.520,1.186;1,1) (0.109,0.26,0.498,1.137;0.8,0.8)	0.5224
FP_19	Product Cost Management	(0.066,0.506,1.122,2.197;1,1) (0.226,0.548,1.073,1.701;0.8,0.8)	0.9502

8.5 Анализа стратешких доприноса имплементације PLM-а

Анализа се ослања на BSC засновани аналитички оквир, који је детаљно представљен у потпоглављу 7.8.2. Оквир пружа модел за анализу и квантификовање стратешких доприноса појединачних иницијатива у оквиру имплементације PLM-а, користећи се BSC-ом као својом концептуалном основом. Предложени аналитички оквир дефинише систем од 23 BSC заснована аспекта евалуације, кроз које мапира потенцијална подручја утицаја PLM-а сублимирајући његове доприносе у четири димензије: финансијски ефекти, оптимизација интерних процеса, генерисање вредности за кориснике, подстицање организационог учења и раста. У односу на конвенционалне BSC оквире, предложени приступ је подвргнут одређеним методолошким и концептуалним модификацијама укључујући: развој система индикатора прилагођених контексту истраживања; интеграцију АНР математичког модела за одређивање релевантних приоритета BSC заснованих аспекта евалуације; примена QFD аналитичког процеса за анализу и квантификовање утицаја PLM-а на генерисање потенцијалних користи. Надаље су представљени процедура и резултати анализе.

Приоритизација BSC аспекта евалуације у односу на стратешке циљеве ППС-а

Предложени аналитички оквир интегрише математички модел АНР методе развијен у IT2F окружењу у циљу извођења приоритета BSC заснованих аспекта евалуације. Процес приоритизације обухвата одређивање тежинских коефицијената за четири специфичне BSC перспективе, а затим приоритизацију њима припадајућих аспекта евалуације и извођење локалних релативних тежина. За потребе процеса приоритизације ангажован је тим који укључује представнике ППС-а из формалних функционалних група истраживања и развоја, техничке припреме, производње и набавке, као и представника менаџмента. Прикупљено је укупно пет процена.

Према моделу детаљно представљеном у потпоглављу 5.2, процес приоритизације укључује формирање индивидуалних матрица упоредног поређења ($\tilde{A}^k = \{\tilde{a}_{ij}^k\}_{n \times n}, k = 1, \dots, K$), при чему је K број учесника процеса, док $\tilde{a}_{ij}^k$ представља преферентност коју додељују i -том аспекту у односу на j -и аспект, водећи се стратешким циљевима организације. Своје перцепције учесници процеса приоритизације артикулишу користећи се одговарајућим лингвистичким категоризацијама, математички описаним уз помоћ припадајућих IT2TrF бројева сагласно скали датој у табели 7. У склопу процедуре, изводи се Saaty-ев тест конзистентности, као уобичајени начин провере доследности процена у АНР заснованим моделима приоритизације, према процедури детаљно појашњеној у потпоглављу 8.1. Сагласно резултатима теста (табеле од 30 до 34), све индивидуалне матрице преференцијалних односа се налазе у границама дозвољених недоследности. У циљу консолидовања појединачних преференција учесника извршена је агрегација индивидуалних матрица упоредног поређења према (29 и 30). Генерисање релативних тежина из дефинисаних преференцијалних односа заснива се на извођењу геометријске средине редова агрегатне матрице, сагласно процедури појашњеној у потпоглављу 5.2 (31 и 32). Резултати процеса приоритизације приказани у табели 35 указују да је стратешки приоритет предузећа оптимизација интерних процеса, висок релативни значај се додељује и унапређењу финансијских ефеката пословања и генерисању специфичних вредности за кориснике, док је област нешто нижег приоритета развој организационих способности учења и раста.

Када говоримо о приоритетима на нивоу BSC заснованих аспекта евалуације највећи релативни значај се додељује смањењу губитака у производњи и смањеном броју инжењерских промена након објављивања дизајна. У циљеве високог релативног значаја

убрајају се и усаглашеност производа са индустријским стандардима и еколошким регулативама, побољшано управљање знањем итд.

Анализа и квантификовање утицаја PLM функционалних подручја на генерисање потенцијалних користи

Анализа се заснива на предикцији утицаја који PLM функционална подручја остварују на генерисање потенцијалних користи, сагласно BSC заснованом оквиру (слика 48). Процес се заснива на QFD аналитичком оквиру, који као атрибуте захтева (d_i) усваја BSC засноване аспекте евалуације, чије релативне тежине (w_i) се усвајају из претходно спроведеног IT2FANP заснованог процеса приоритизације, ови аспекти се тумаче као потенцијалне користи генерисане имплементацијом PLM-а. Као атрибуте квалитета (t_j) предложени QFD процес третира PLM функционална подручја. Процес укључује откривање релација ($d_i - t_j$) и процену снаге утицаја PLM функционалних подручја на остваривање корелирајућих користи.

За потребе QFD анализе, формирана су три тима, како би се интегрисале интердисциплинарне експертизе, тимови укључују представнике академске заједнице у релевантним научним областима, представнике различитих функционалних група у оквиру ППС-а и стручњаке са експертизом у области имплементације PLM-а. Процене обухваћене QFD анализом се заснивају на субјективним перцепцијама QFD аналитичара, изграђеним на основу познавања специфичних PLM компетенција и механизма кроз које генеришу пословну вредност за организацију. Имајући у виду да због немогућности резоновања оваквих корелација на апсолутно прецизан начин и других несигурности својствених људском когнитивном процесу, овакве преференције није могуће исказати егзактним нумеричким вредностима, користе се лингвистичке варијабле моделоване применом IT2TrF бројева, која омогућава прецизније описивање нејасних преференција (сагласно скали у табели 10).

На основу процена генерисаних од стране QFD тимова формирају се индивидуалне матрице релација ($\tilde{X}^l = (\tilde{x}_{ij}^l)_{n \times m}$), док се сагласно формули (47) изводи агрегирана матрица ($\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{n \times m}$) (прилог 5), из које се, а на основу (49) генерише индекс корисности ($\tilde{y}_j$), који одражава стратешку усаглашеност појединачних PLM функционалних подручја. Резултати QFD анализе су приказани у табели 36.

Судећи према резултатима QFD анализе, највиши степен усаглашености у односу на стратешке приоритете предузеће показује функционално подручје *Cross-domain Product Design Collaboration*. Као најзначајније користи које генерише у контексту предузећа које је предмет студије случаја, аналитичари перципирају смањен број грешака и инжењерских промена у каснијим фазама развоја, смањене трошкове инжењерских промена, побољшање продуктивности запослених и краће времена до пласирања производа на тржиште. Значајне пословне вредности у контексту стратешких доприноса и побољшане оперативне ефикасности генерише и домен *Product Structure Management* при чему је потенцијално највећи утицај ових технологија у случају анализираног предузећа у домену бољег управљања утицајем и веће следљивости промена, бољег управљања варијабилношћу производа и унапређеног управљања знањем. Док се најмање користи у односу на тренутне стратешке приоритете и оперативне околности предузећа генеришу имплементацијом *Product Cost Management* и *Analytics and Reporting* решења.

Табела 30. Резултати приоритизације BSC перспектива применом IT2FAHP методе

BSC перспективе		Агрегатна матрица упоредног поређења ($\tilde{A}$)				IT2TrF геометријска средина ($\tilde{\tilde{r}}_i$)	IT2TrF тежински вектори ($\tilde{\tilde{w}}_i$)	Дефазификоване вредности (w_i)
		FP	IPP	CP	LGP			
FP	Финансијска перспектива	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.415,0.488,0.608,0.678;1,1) (0.433,0.503,0.595,0.663;0,8,0,8)	(0.903,1.149,1.644,2.036;1,1) (0.956,1.194,1.585,1.936;0,8,0,8)	(0.491,0.803,1.516,2.108;1,1) (0.556,0.865,1.428,1.958;0,8,0,8)	(0.713,0.853,1.087,1.238;1,1) (0.745,0.877,1.062,1.202;0,8,0,8)	(0.212,0.226,0.237,0.240;1,1) (0.216,0.227,0.236,0.239;0,8,0,8)	0.2288
IPP	Перспектива интерних процеса	(1.476,1.644,2.048,2.408;1,1) (1.508,1.68,1.99,2.312;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(1.719,1.888,2.169,2.29;1,1) (1.755,1.919,2.143,2.267;0,8,0,8)	(1.719,2.169,3.104,3.615;1,1) (1.809,2.259,3.006,3.509;0,8,0,8)	(1.342,1.464,1.690,1.819;1,1) (1.368,1.488,1.666,1.790;1,1)	(0.399,0.388,0.368,0.353;1,1) (0.396,0.386,0.370,0.357;0,8,0,8)	0.3769
CP	Перспектива купаца	(0.491,0.608,0.871,1.108;1,1) (0.517,0.631,0.837,1.046;0,8,0,8)	(0.437,0.461,0.53,0.582;1,1) (0.441,0.467,0.521,0.57;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.935,1.149,1.644,1.966;1,1) (0.977,1.193,1.587,1.895;0,8,0,8)	(0.725,0.797,0.946,1.048;1,1) (0.740,0.811,0.929,1.025;0,8,0,8)	(0.216,0.211,0.206,0.203;1,1) (0.215,0.210,0.206,0.204;0,8,0,8)	0.2090
LGP	Перспектива учења и развоја	(0.474,0.66,1.246,2.036;1,1) (0.511,0.7,1.157,1.8;0,8,0,8)	(0.277,0.322,0.461,0.582;1,1) (0.285,0.333,0.443,0.553;1,1)	(0.509,0.608,0.871,1.07;1,1) (0.528,0.63,0.838,1.024;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.582,0.664,0.871,1.048;1,1) (0.598,0.681,0.844,1.004;0,8,0,8)	(0.173,0.176,0.190,0.203;1,1) (0.173,0.177,0.188,0.2;0,8,0,8)	0.1852
$CR_1 = 0,053$; $CR_2 = 0,0558$; $CR_3 = 0,0675$; $CR_4 = 0,0264$; $CR_5 = 0,0868$								

Табела 31. Резултати приоритизације BSC заснованих аспеката евалуације: финансијска перспектива

Аспекти евалуације		Агрегатна матрица упоредног поређења ($\tilde{A}$)					IT2TrF геометријска средина ($\tilde{\tilde{r}}_i$)	IT2TrF тежински вектори ($\tilde{\tilde{w}}_i$)
		FP_1	FP_2	FP_3	FP_4	FP_5		
FP_1	Смањени трошкови квалитета (трошкови опозива и гаранција)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(1.476,2.639,4.704,5.624;1,1) (1.717,2.862,4.495,5.443;0,8,0,8)	(0.815,1,1.552,2.178;1,1) (0.85,1.041,1.474,2.001;0,8,0,8)	(1.719,2.169,2.862,3.160;1,1) (1.82,2.247,2.799,3.102;0,8,0,8)	(0.517,0.758,1.217,1.476;1,1) (0.569,0.803,1.169,1.421;0,8,0,8)	(1.014,1.341,1.910,2.246;1,1) (1.086,1.400,1.85,2.169;0,8,0,8)	(0.263,0.281,0.290,0.284;1,1) (0.268,0.283,0.290,0.286;0,8,0,8)
FP_2	Смањени трошкови услед вишка или застарелих залиха	(0.178,0.213,0.379,0.678;1,1) (0.184,0.222,0.349,0.582;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.229,0.265,0.401,0.582;1,1) (0.236,0.274,0.380,0.530;0,8,0,8)	(0.443,0.530,0.822,1.185;1,1) (0.459,0.55,0.778,1.081;0,8,0,8)	(0.204,0.225,0.304,0.394;1,1) (0.208,0.231,0.292,0.370;0,8,0,8)	(0.326,0.368,0.52,0.713;1,1) (0.334,0.378,0.497,0.658;0,8,0,8)	(0.085,0.077,0.079,0.090;1,1) (0.082,0.076,0.078,0.087;0,8,0,8)
FP_3	Смањени трошкови инжењерских промена	(0.459,0.644,1,1.227;1,1) (0.5,0.679,0.961,1.176;0,8,0,8)	(1.719,2.491,3.776,4.360;1,1) (1.888,2.631,3.656,4.245;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.602,0.758,1.059,1.246;1,1) (0.636,0.787,1.026,1.205;0,8,0,8)	(0.612,0.699,0.944,1.185;1,1) (0.628,0.718,0.911,1.121;0,8,0,8)	(0.781,0.968,1.304,1.512;1,1) (0.823,1.002,1.268,1.465;0,8,0,8)	(0.203,0.203,0.198,0.191;1,1) (0.203,0.202,0.199,0.193;0,8,0,8)
FP_4	Смањени оперативни и административни трошкови	(0.316,0.349,0.461,0.582;1,1) (0.322,0.357,0.445,0.549;0,8,0,8)	(0.844,1.217,1.888,2.255;1,1) (0.925,1.285,1.819,2.178;0,8,0,8)	(0.803,0.944,1.32,1.660;1,1) (0.830,0.974,1.271,1.572;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.204,0.265,0.425,0.582;1,1) (0.216,0.277,0.404,0.541;0,8,0,8)	(0.535,0.639,0.866,1.048;1,1) (0.557,0.659,0.839,1.003;0,8,0,8)	(0.139,0.134,0.131,0.133;1,1) (0.137,0.133,0.131,0.132;0,8,0,8)
FP_5	Смањени трошкови развоја производа	(0.678,0.822,1.32,1.933;1,1) (0.704,0.856,1.245,1.758;0,8,0,8)	(2.537,3.288,4.441,4.904;1,1) (2.701,3.423,4.325,4.814;0,8,0,8)	(0.844,1.059,1.431,1.635;1,1) (0.892,1.098,1.393,1.591;0,8,0,8)	(1.719,2.352,3.776,4.904;1,1) (1.849,2.478,3.606,4.621;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(1.201,1.464,1.996,2.378;1,1) (1.257,1.514,1.934,2.285;0,8,0,8)	(0.311,0.306,0.303,0.301;1,1) (0.31,0.306,0.303,0.301;0,8,0,8)
$CR_1 = 0,0104$; $CR_2 = 0,0948$; $CR_3 = 0,0237$; $CR_4 = 0,0198$; $CR_5 = 0,0433$								

Табела 32. Резултати приоритизације BSC заснованих аспеката анализе: перспектива интерних процеса

Аспекти евалуације		Агрегатна матрица упоредног поређења ($\tilde{A}$)						
		IPP_1	IPP_2	IPP_3	IPP_4	IPP_5	IPP_6	IPP_7
IPP_1	Смањење губитака у производњи	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.949,1.217,1.933,2.580;1,1) (1.001,1.274,1.840,2.413;0,8,0,8)	(1.933,2.639,3.866,4.435;1,1) (2.084,2.770,3.75,4.323;0,8,0,8)	(1.108,1.605,2.491,2.954;1,1) (1.216,1.703,2.400,2.860;0,8,0,8)	(2.29,2.862,4.193,5.245;1,1) (2.401,2.983,4.02,4.976;0,8,0,8)	(1.246,1.431,1.888,2.290;1,1) (1.282,1.470,1.831,2.186;0,8,0,8)	(1.290,1.552,2.297,3.000;1,1) (1.339,1.610,2.198,2.817;0,8,0,8)
IPP_2	Смањен број инжењерских промена након објављивања дизајна	(0.388,0.517,0.822,1.053;1,1) (0.414,0.543,0.785,0.999;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(2.141,2.862,4.095,4.663;1,1) (2.297,2.994,3.979,4.551;1,1)	(1,1.32,1.888,2.178;1,1) (1.069,1.378,1.832,2.119;1,1)	(2.537,3.104,4.441,5.515;1,1) (2.646,3.224,4.265,5.240;1,1)	(1.125,1.741,3.104,4.146;1,1) (1.252,1.863,2.943,3.887;1,1)	(1.380,1.888,2.862,3.380;1,1) (1.487,1.985,2.762,3.273;1,1)
IPP_3	Већа агилност производних система и планова производње	(0.226,0.259,0.379,0.517;1,1) (0.231,0.267,0.361,0.480;0,8,0,8)	(0.214,0.244,0.349,0.467;1,1) (0.22,0.251,0.334,0.435;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.491,0.530,0.660,0.803;1,1) (0.498,0.539,0.641,0.764;0,8,0,8)	(0.935,1.149,1.516,1.719;1,1) (0.983,1.187,1.478,1.675;0,8,0,8)	(0.333,0.425,0.660,0.889;1,1) (0.352,0.444,0.628,0.829;0,8,0,8)	(0.644,0.944,1.605,2.141;1,1) (0.708,1.002,1.525,2.006;0,8,0,8)
IPP_4	Повећана ефикасност производње	(0.339,0.401,0.623,0.903;1,1) (0.35,0.417,0.587,0.822;0,8,0,8)	(0.459,0.530,0.758,1,1,1) (0.472,0.546,0.725,0.935;0,8,0,8)	(1.246,1.516,1.888,2.036;1,1) (1.309,1.560,1.856,2.008;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(1.904,2.702,4.000,4.584;1,1) (2.08,2.844,3.879,4.470;0,8,0,8)	(0.612,0.699,0.944,1.185;1,1) (0.628,0.718,0.911,1.121;0,8,0,8)	(0.75,1,1.516,1.838;1,1) (0.803,1.048,1.459,1.768;0,8,0,8)
IPP_5	Убрзана стабилизација производње нових производа	(0.191,0.238,0.349,0.437;1,1) (0.201,0.249,0.335,0.416;0,8,0,8)	(0.181,0.225,0.322,0.394;1,1) (0.191,0.234,0.310,0.378;0,8,0,8)	(0.582,0.660,0.871,1.070;1,1) (0.597,0.677,0.843,1.017;0,8,0,8)	(0.218,0.25,0.370,0.525;1,1) (0.224,0.258,0.352,0.481;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.263,0.304,0.425,0.525;1,1) (0.271,0.314,0.409,0.502;0,8,0,8)	(0.388,0.435,0.561,0.654;1,1) (0.397,0.446,0.546,0.633;0,8,0,8)
IPP_6	Смањен број грешака и инжењерских промена у каснијим фазама развоја	(0.437,0.530,0.699,0.803;1,1) 0.458,0.546,0.681,0.780;0,8,0,8)	(0.241,0.322,0.574,0.889;1,1) (0.257,0.340,0.537,0.799;0,8,0,8)	(1.125,1.516,2.352,3.005;1,1) (1.207,1.592,2.253,2.841;0,8,0,8)	(0.844,1.059,1.431,1.635;1,1) (0.892,1.098,1.393,1.591;0,8,0,8)	(1.904,2.352,3.288,3.801;1,1) (1.993,2.443,3.190,3.695;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(1.246,1.431,1.888,2.290;1,1) (1.282,1.470,1.831,2.186;0,8,0,8)
IPP_7	Убрзани циклуси промена, ревизије и објављивања инжењерског дизајна	(0.333,0.435,0.644,0.775;1,1) (0.355,0.455,0.621,0.747;0,8,0,8)	(0.296,0.349,0.530,0.725;1,1) (0.306,0.362,0.504,0.673;0,8,0,8)	(0.467,0.623,1.059,1.552;1,1) (0.498,0.656,0.998,1.413;0,8,0,8)	(0.544,0.660,1,1.332;1,1) (0.566,0.686,0.954,1.245;0,8,0,8)	(1.528,1.783,2.297,2.576;1,1) (1.580,1.833,2.244,2.518;0,8,0,8)	(0.437,0.530,0.699,0.803;1,1) (0.458,0.546,0.681,0.780;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)
IPP_8	Смањено време до пласирања производа на тржиште	(0.602,0.715,1.059,1.401;1,1) (0.623,0.741,1.012,1.311;0,8,0,8)	(0.602,0.660,0.803,0.903;1,1) (0.613,0.672,0.786,0.880;0,8,0,8)	(1.246,1.516,2.221,2.853;1,1) (1.297,1.575,2.123,2.688;0,8,0,8)	(0.789,1.059,1.644,2.036;1,1) (0.845,1.112,1.577,1.948;0,8,0,8)	(1.838,2.433,3.446,3.936;1,1) (1.965,2.547,3.325,3.832;0,8,0,8)	(0.789,1.059,1.644,2.036;1,1) (0.845,1.112,1.577,1.948;0,8,0,8)	(0.935,1.084,1.516,1.933;1,1) (0.963,1.118,1.458,1.824;0,8,0,8)
IPP_9	Редуковање ризика повезаних са ланцима снабдевања	(0.229,0.297,0.5,0.750;1,1) (0.243,0.313,0.469,0.679;0,8,0,8)	(0.333,0.379,0.488,0.562;1,1) (0.342,0.389,0.476,0.546;0,8,0,8)	(0.525,0.660,1.084,1.579;1,1) (0.55,0.690,1.023,1.439;0,8,0,8)	(0.572,0.644,0.822,0.951;1,1) (0.586,0.660,0.801,0.921;0,8,0,8)	(1.165,1.32,1.644,1.838;1,1) (1.196,1.35,1.609,1.796;0,8,0,8)	(0.459,0.561,0.822,1.017;1,1) (0.479,0.583,0.790,0.972;0,8,0,8)	(0.241,0.322,0.574,0.889;1,1) (0.257,0.340,0.537,0.799;0,8,0,8)
IPP_10	Боље управљање варијабилношћу производа	(0.437,0.530,0.699,0.803;1,1) (0.458,0.546,0.681,0.780;0,8,0,8)	(0.296,0.361,0.5,0.602;1,1) (0.310,0.375,0.483,0.579;0,8,0,8)	(0.572,0.85,1.431,1.810;1,1) (0.631,0.904,1.366,1.726;0,8,0,8)	(0.678,0.922,1.431,1.748;1,1) (0.729,0.970,1.375,1.679;0,8,0,8)	(1.070,1.289,1.825,2.290;1,1) (1.113,1.340,1.75,2.170;0,8,0,8)	(0.437,0.5,0.699,0.903;1,1) (0.448,0.515,0.671,0.849;0,8,0,8)	(0.467,0.542,0.803,1.125;1,1) (0.481,0.560,0.764,1.033;0,8,0,8)
IPP_11	Боље управљање утицајем и већа следљивост промена	(0.467,0.574,0.871,1.144;1,1) (0.488,0.598,0.832,1.073;0,8,0,8)	(0.573,0.683,0.871,0.983;1,1) (0.599,0.707,0.849,0.960;0,8,0,8)	(0.789,1.059,1.644,2.036;1,1) (0.845,1.112,1.577,1.948;0,8,0,8)	(1.035,1.246,1.741,2.068;1,1) (1.077,1.290,1.684,1.996;0,8,0,8)	(1.227,1.431,1.888,2.174;1,1) (1.266,1.474,1.831,2.111;0,8,0,8)	(0.544,0.699,1,1.185;1,1) (0.577,0.728,0.967,1.144;0,8,0,8)	(0.644,0.822,1.217,1.552;1,1) (0.682,0.856,1.168,1.466;0,8,0,8)

Аспекти евалуације		Агрегатна матрица упоредног поређења ($\tilde{A}$)				IT2TrF геометријска средина ($\tilde{r}_i$)	IT2TrF тежински вектори ($\tilde{w}_i$)
		IPP_8	IPP_9	IPP_10	IPP_11		
IPP_1	Смањење губитака у производњи	(0.714,0.944,1.398,1.660;1,1) (0.763,0.988,1.349,1.604;0,8,0,8)	(1.332,2.000,3.366,4.360;1,1) (1.472,2.130,3.199,4.112;0,8,0,8)	(1.246,1.431,1.888,2.290;1,1) (1.282,1.470,1.831,2.186;0,8,0,8)	(0.874,1.149,1.741,2.141;1,1) (0.932,1.202,1.673,2.051;0,8,0,8)	(1.506,2.52,5.544,8.455;1,1) (1.696,2.752,5.127,7.698;0,8,0,8)	(0.218,0.231,0.244,0.248;1,1) (0.246,0.252,0.226,0.226;0,8,0,8)
IPP_2	Смањен број инжењерских промена након објављивања дизајна	(1.108,1.246,1.516,1.660;1,1) (1.136,1.273,1.488,1.630;1,1)	(1.780,2.048,2.639,3;1,1) (1.833,2.103,2.574,2.922;1,1)	(1.660,2.000,2.766,3.380;1,1) (1.727,2.071,2.666,3.221;1,1)	(1.017,1.149,1.465,1.745;1,1) (1.042,1.178,1.415,1.670;1,1)	(1.612,2.591,5.270,7.535;1,1) (1.797,2.808,4.914,6.970;0,8,0,8)	(0.234,0.237,0.232,0.221;1,1) (0.261,0.257,0.216,0.205;0,8,0,8)
IPP_3	Већа агилност производних система и планова производње	(0.351,0.45,0.660,0.803;1,1) (0.372,0.471,0.635,0.771;0,8,0,8)	(0.634,0.922,1.516,1.904;1,1) (0.695,0.977,1.449,1.817;0,8,0,8)	(0.552,0.699,1.176,1.748;1,1) (0.580,0.732,1.106,1.586;0,8,0,8)	(0.491,0.608,0.944,1.267;1,1) (0.513,0.634,0.899,1.183;0,8,0,8)	(0.196,0.307,0.689,1.165;1,1) (0.217,0.333,0.631,1.032;0,8,0,8)	(0.028,0.028,0.030,0.034;1,1) (0.031,0.030,0.028,0.030;0,8,0,8)
IPP_4	Повећана ефикасност производње	(0.517,0.660,0.922,1.070;1,1) (0.548,0.686,0.895,1.038;0,8,0,8)	(1.052,1.217,1.552,1.748;1,1) (1.085,1.249,1.516,1.706;0,8,0,8)	(0.572,0.699,1.084,1.476;1,1) (0.596,0.727,1.031,1.372;0,8,0,8)	(0.484,0.574,0.803,0.966;1,1) (0.501,0.594,0.775,0.929;0,8,0,8)	(0.480,0.722,1.448,2.177;1,1) (0.526,0.776,1.346,1.986;0,8,0,8)	(0.070,0.066,0.064,0.064;1,1) (0.076,0.071,0.059,0.058;0,8,0,8)
IPP_5	Убрзана стабилизација производње нових производа	(0.254,0.290,0.411,0.544;1,1) (0.261,0.301,0.393,0.509;0,8,0,8)	(0.544,0.608,0.758,0.859;1,1) (0.557,0.622,0.741,0.836;0,8,0,8)	(0.437,0.548,0.776,0.935;1,1) (0.461,0.571,0.746,0.899;0,8,0,8)	(0.460,0.530,0.699,0.815;1,1) (0.474,0.546,0.678,0.790;0,8,0,8)	(0.104,0.143,0.271,0.412;1,1) (0.112,0.153,0.252,0.375;0,8,0,8)	(0.015,0.013,0.012,0.012;1,1) (0.016,0.014,0.011,0.011;0,8,0,8)
IPP_6	Смањен број грешака и инжењерских промена у каснијим фазама развоја	(0.491,0.608,0.944,1.267;1,1) (0.513,0.634,0.899,1.183;0,8,0,8)	(0.983,1.217,1.783,2.178;1,1) (1.029,1.266,1.716,2.089;0,8,0,8)	(1.108,1.431,2.000,2.290;1,1) (1.178,1.490,1.943,2.231;0,8,0,8)	(0.844,1,1.431,1.838;1,1) (0.874,1.034,1.374,1.732;0,8,0,8)	(0.640,0.995,2.095,3.236;1,1) (0.707,1.076,1.941,2.933;0,8,0,8)	(0.093,0.091,0.092,0.095;1,1) (0.102,0.098,0.085,0.086;0,8,0,8)
IPP_7	Убрзани циклуси промена, ревизије и објављивања инжењерског дизајна	(0.214,0.244,0.349,0.467;1,1) (0.22,0.251,0.334,0.435;0,8,0,8)	(1.125,1.741,3.104,4.146;1,1) (1.252,1.863,2.943,3.887;0,8,0,8)	(0.889,1.246,1.844,2.141;1,1) (0.968,1.309,1.786,2.081;0,8,0,8)	(0.644,0.822,1.217,1.552;1,1) (0.682,0.856,1.168,1.466;0,8,0,8)	(0.297,0.481,1.071,1.729;1,1) (0.332,0.522,0.986,1.551;0,8,0,8)	(0.043,0.044,0.047,0.051;1,1) (0.048,0.048,0.043,0.046;0,8,0,8)
IPP_8	Смањено време до пласирања производа на тржиште	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(1.476,2.000,2.702,2.954;1,1) (1.596,2.088,2.635,2.906;0,8,0,8)	(1.719,2.118,2.930,3.380;1,1) (1.801,2.206,2.843,3.288;0,8,0,8)	(1.108,1.398,1.888,2.141;1,1) (1.173,1.455,1.838,2.090;0,8,0,8)	(1.063,1.658,3.312,4.756;1,1) (1.177,1.792,3.086,4.397;0,8,0,8)	(0.154,0.152,0.146,0.140;1,1) (0.171,0.164,0.136,0.129;0,8,0,8)
IPP_9	Редуковање ризика повезаних са ланцима снабдевања	(0.339,0.370,0.5,0.678;1,1) (0.344,0.379,0.479,0.626;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.678,0.901,1.351,1.635;1,1) (0.725,0.947,1.300,1.573;0,8,0,8)	(0.467,0.561,0.822,1.070;1,1) (0.485,0.583,0.786,1.006;0,8,0,8)	(0.2,0.292,0.623,1.045;1,1) (0.217,0.315,0.572,0.926;0,8,0,8)	(0.029,0.027,0.027,0.031;1,1) (0.031,0.029,0.025,0.027;0,8,0,8)
IPP_10	Боље управљање варијабилношћу производа	(0.296,0.341,0.472,0.582;1,1) (0.304,0.352,0.453,0.555;0,8,0,8)	(0.612,0.740,1.110,1.476;1,1) (0.636,0.769,1.056,1.379;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.491,0.530,0.660,0.803;1,1) (0.498,0.539,0.641,0.764;0,8,0,8)	(0.25,0.371,0.760,1.197;1,1) (0.273,0.399,0.702,1.078;0,8,0,8)	(0.036,0.034,0.033,0.035;1,1) (0.040,0.037,0.031,0.032;0,8,0,8)
IPP_11	Боље управљање утицајем и већа следљивост промена	(0.467,0.530,0.715,0.903;1,1) (0.478,0.544,0.688,0.853;0,8,0,8)	(0.935,1.217,1.783,2.141;1,1) (0.994,1.272,1.714,2.060;0,8,0,8)	(1.246,1.516,1.888,2.036;1,1) (1.309,1.560,1.856,2.008;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.552,0.839,1.644,2.368;1,1) (0.607,0.903,1.533,2.187;0,8,0,8)	(0.080,0.077,0.072,0.070;1,1) (0.088,0.083,0.067,0.064;0,8,0,8)
$CR_1 = 0,07552$; $CR_2 = 0,0139$; $CR_3 = 0,0749$; $CR_4 = 0,0253$; $CR_5 = 0,0255$							

Табела 33. Резултати приоритизације BSC заснованих аспеката евалуације: перспектива купаца

Аспекти евалуације		Агрегатна матрица упоредног поређења ($\tilde{A}$)				IT2TrF геометријска средина ($\tilde{r}_i$)	IT2TrF тежински вектори ($\tilde{w}_i$)
		CP_1	CP_2	CP_3	CP_4		
CP_1	Унапређене могућности прилагођавања производа	(1,1,1,1;1,1)	(0.131,0.152,0.225,0.306;1,1)	(0.123,0.140,0.196,0.245;1,1)	(0.155,0.181,0.287,0.437;1,1)	(0.302,0.329,0.417,0.505;1,1)	(0.077,0.074,0.077,0.084;1,1)
		(1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.135,0.157,0.215,0.284;0,8,0,8)	(0.126,0.144,0.188,0.234;0,8,0,8)	(0.160,0.188,0.270,0.393;0,8,0,8)	(0.307,0.336,0.405,0.482;0,8,0,8)	(0.076,0.074,0.076,0.082;0,8,0,8)
CP_2	Побољшан квалитет производа	(3.272,4.441,6.575,7.610;1,1)	(1,1,1,1;1,1)	(0.654,0.758,1.084,1.476;1,1)	(2.713,3.031,3.446,3.554;1,1)	(1.422,1.591,1.897,2.090;1,1)	(0.364,0.357,0.349,0.348;1,1)
		(3.519,4.662,6.366,7.404;0,8,0,8)	(1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.674,0.781,1.037,1.364;0,8,0,8)	(2.779,3.092,3.392,3.533;0,8,0,8)	(1.458,1.623,1.862,2.044;0,8,0,8)	(0.362,0.355,0.349,0.348;0,8,0,8)
CP_3	Усаглашеност производа са индустријским стандардима и еколошким регулативама	(4.076,5.102,7.130,8.139;1,1)	(0.678,0.922,1.32,1.528;1,1)	(1,1,1,1;1,1)	(3.500,4.704,6.732,7.610;1,1)	(1.574,1.858,2.293,2.484;1,1)	(0.403,0.416,0.422,0.414;1,1)
		(4.282,5.306,6.928,7.938;0,8,0,8)	(0.733,0.964,1.280,1.484;0,8,0,8)	(1,1,1,1;0,8,0,8)	(3.756,4.930,6.522,7.437;0,8,0,8)	(1.638,1.907,2.251,2.446;0,8,0,8)	(0.406,0.418,0.422,0.416;0,8,0,8)
CP_4	Побољшане перформансе постпродајних услуга	(2.290,3.482,5.533,6.434;1,1)	(0.281,0.290,0.330,0.369;1,1)	(0.131,0.149,0.213,0.286;1,1)	(1,1,1,1;1,1)	(0.610,0.684,0.827,0.925;1,1)	(0.156,0.153,0.152,0.154;1,1)
		(2.542,3.707,5.323,6.257;0,8,0,8)	(0.283,0.295,0.323,0.360;0,8,0,8)	(0.134,0.153,0.203,0.266;0,8,0,8)	(1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.627,0.700,0.810,0.903;0,8,0,8)	(0.156,0.153,0.152,0.154;0,8,0,8)
CR ₁ = 0,06157; CR ₂ = 0,0595; CR ₃ = 0,0716; CR ₄ = 0,017; CR ₅ = 0,095							

Табела 34. Резултати приоритизације BSC заснованих аспеката евалуације: перспектива учења и развоја

Аспекти евалуације		Агрегатна матрица упоредног поређења ($\tilde{A}$)			IT2TrF геометријска средина ($\tilde{r}_i$)	IT2TrF тежински вектори ($\tilde{w}_i$)
		LGP_1	LGP_2	LGP_3		
LGP_1	Побољшана продуктивност запослених	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.491,0.574,0.871,1.246;1,1) (0.506,0.594,0.826,1.138;0,8,0,8)	(1.246,1.516,1.888,2.036;1,1) (1.309,1.560,1.856,2.008;0,8,0,8)	(0.906,0.973,1.105,1.205;1,1) (0.921,0.985,1.089,1.180;0,8,0,8)	(0.353,0.343,0.334,0.333;1,1) (0.35,0.342,0.335,0.333;0,8,0,8)
LGP_2	Побољшано управљање знањем	(0.803,1.149,1.741,2.036;1,1) (0.879,1.211,1.683,1.976;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(1.165,1.741,2.862,3.500;1,1) (1.286,1.851,2.744,3.364;0,8,0,8)	(0.987,1.149,1.379,1.481;1,1) (1.025,1.175,1.358,1.461;0,8,0,8)	(0.384,0.405,0.417,0.410;1,1) (0.390,0.408,0.417,0.412;0,8,0,8)
LGP_3	Поједностављење комплексних послова	(0.491,0.530,0.660,0.803;1,1) (0.498,0.539,0.641,0.764;0,8,0,8)	(0.286,0.349,0.574,0.859;1,1) (0.297,0.364,0.540,0.777;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0.675,0.714,0.824,0.928;1,1) (0.682,0.722,0.809,0.901;0,8,0,8)	(0.263,0.252,0.249,0.257;1,1) (0.260,0.251,0.248,0.254;0,8,0,8)
$CR_1 = 0,0478$; $CR_2 = 0,04647$; $CR_3 = 0,0158$; $CR_4 = 0,01578$; $CR_5 = 0,01579$						

Табела 35. Релативни приоритети BSC заснованих аспеката евалуације

BSC перспективе		Аспекти евалуације		Релативне тежине BSC перспектива	Релативне тежине BSC заснованих аспеката евалуације	Релативне локалне тежине BSC заснованих аспеката евалуације	Дефазификоване вредности
FP	Финансијска перспектива	FP_1	Смањени трошкови квалитета (трошкови опозива и гаранција)	(0.212,0.226,0.237,0.240;1,1) (0.216,0.227,0.236,0.239;0.8,0.8)	(0.263,0.281,0.290,0.284;1,1) (0.268,0.283,0.290,0.286;0.8,0.8)	(0.056,0.063,0.069,0.068;1,1) (0.058,0.064,0.068,0.069;0.8,0.8)	0.0641
		FP_2	Смањени трошкови услед вишка или застарелих залиха		(0.085,0.077,0.079,0.090;1,1) (0.082,0.076,0.078,0.087;0.8,0.8)	(0.018,0.017,0.019,0.022;1,1) (0.018,0.017,0.018,0.021;0.8,0.8)	0.0189
		FP_3	Смањени трошкови инжењерских промена		(0.203,0.203,0.198,0.191;1,1) (0.203,0.202,0.199,0.193;0.8,0.8)	(0.043,0.046,0.047,0.046;1,1) (0.044,0.046,0.047,0.046;0.8,0.8)	0.0454
		FP_4	Смањени оперативни и административни трошкови (због побољшања опште ефикасности рада)		(0.139,0.134,0.131,0.133;1,1) (0.137,0.133,0.131,0.132;0.8,0.8)	(0.029,0.030,0.031,0.032;1,1) (0.030,0.030,0.031,0.032;0.8,0.8)	0.0306
		FP_5	Смањени трошкови развоја производа		(0.311,0.306,0.303,0.301;1,1) (0.310,0.306,0.303,0.301;0.8,0.8)	(0.066,0.069,0.072,0.072;1,1) (0.067,0.070,0.071,0.072;0.8,0.8)	0.0698
IPP	Перспектива интерних процеса	IPP_1	Смањење губитака у производњи	(0.399,0.388,0.368,0.353;1,1) (0.396,0.386,0.370,0.357;0.8,0.8)	(0.218,0.231,0.244,0.248;1,1) (0.246,0.252,0.226,0.226;0.8,0.8)	(0.087,0.089,0.090,0.088;1,1) (0.097,0.097,0.083,0.081;0.8,0.8)	0.0890
		IPP_2	Смањен број инжењерских промена након објављивања дизајна		(0.234,0.237,0.232,0.221;1,1) (0.261,0.257,0.216,0.205;0.8,0.8)	(0.093,0.092,0.085,0.078;1,1) (0.103,0.099,0.080,0.073;0.8,0.8)	0.0131
		IPP_3	Већа агилност производних система и планова производње		(0.028,0.028,0.030,0.034;1,1) (0.031,0.030,0.028,0.030;0.8,0.8)	(0.011,0.011,0.011,0.012;1,1) (0.012,0.012,0.010,0.011;0.8,0.8)	0.0284
		IPP_4	Повећана ефикасност производње (краће време циклуса, нижи трошкови рада, боља искоришћеност капацитета)		(0.070,0.066,0.064,0.064;1,1) (0.076,0.071,0.059,0.058;0.8,0.8)	(0.028,0.026,0.023,0.023;1,1) (0.030,0.027,0.022,0.021;0.8,0.8)	0.0879
		IPP_5	Убрзана стабилизација производње нових производа		(0.015,0.013,0.012,0.012;1,1) (0.016,0.014,0.011,0.011;0.8,0.8)	(0.006,0.005,0.004,0.004;1,1) (0.006,0.005,0.004,0.004;0.8,0.8)	0.0113
		IPP_6	Смањен број грешака и инжењерских промена у каснијим фазама развоја		(0.093,0.091,0.092,0.095;1,1) (0.102,0.098,0.085,0.086;0.8,0.8)	(0.037,0.035,0.034,0.034;1,1) (0.041,0.038,0.032,0.031;0.8,0.8)	0.0250
		IPP_7	Убрзани циклуси промена, ревизије и објављивања инжењерског дизајна		(0.043,0.044,0.047,0.051;1,1) (0.048,0.048,0.043,0.046;0.8,0.8)	(0.017,0.017,0.017,0.018;1,1) (0.019,0.018,0.016,0.016;0.8,0.8)	0.0050
		IPP_8	Смањено време до пласирања производа на тржиште		(0.154,0.152,0.146,0.140;1,1) (0.171,0.164,0.136,0.129;0.8,0.8)	(0.062,0.059,0.054,0.049;1,1) (0.068,0.063,0.05,0.046;0.8,0.8)	0.0351
		IPP_9	Редуковање ризика повезаних са ланцима снабдевања		(0.029,0.027,0.027,0.031;1,1) (0.031,0.029,0.025,0.027;0.8,0.8)	(0.012,0.010,0.010,0.011;1,1) (0.012,0.011,0.009,0.010;0.8,0.8)	0.0174
		IPP_10	Боље управљање варијабилношћу производа		(0.036,0.034,0.033,0.035;1,1) (0.040,0.037,0.031,0.032;0.8,0.8)	(0.014,0.013,0.012,0.012;1,1) (0.016,0.014,0.011,0.011;0.8,0.8)	0.0563
		IPP_11	Боље управљање утицајем и већа следљивост промена		(0.080,0.077,0.072,0.070;1,1) (0.088,0.083,0.067,0.064;0.8,0.8)	(0.032,0.030,0.027,0.025;1,1) (0.035,0.032,0.025,0.023;0.8,0.8)	0.0107
CP	Перспектива купаца	CP_1	Унапређене могућности прилагођавања производа	(0.216,0.211,0.206,0.203;1,1) (0.215,0.210,0.206,0.204;0.8,0.8)	(0.077,0.074,0.077,0.084;1,1) (0.076,0.074,0.076,0.082;0.8,0.8)	(0.017,0.016,0.016,0.017;1,1) (0.016,0.015,0.016,0.017;0.8,0.8)	0.0162
		CP_2	Побољшан квалитет производа		(0.364,0.357,0.349,0.348;1,1) (0.362,0.355,0.349,0.348;0.8,0.8)	(0.078,0.075,0.072,0.071;1,1) (0.078,0.075,0.072,0.071;0.8,0.8)	0.0741
		CP_3	Усаглашеност производа са индустријским стандардима и еколошким регулативама		(0.403,0.416,0.422,0.414;1,1) (0.406,0.418,0.422,0.416;0.8,0.8)	(0.087,0.088,0.087,0.084;1,1) (0.087,0.088,0.087,0.085;0.8,0.8)	0.0865
		CP_4	Побољшане перформансе постпродајних услуга		(0.156,0.153,0.152,0.154;1,1) (0.156,0.153,0.152,0.154;0.8,0.8)	(0.034,0.032,0.031,0.031;1,1) (0.033,0.032,0.031,0.031;0.8,0.8)	0.0322
LGP	Перспектива учења и развоја	LGP_1	Побољшана продуктивност запослених	(0.173,0.176,0.19,0.203;1,1) (0.173,0.177,0.188,0.2;0.8,0.8)	(0.353,0.343,0.334,0.333;1,1) (0.35,0.342,0.335,0.333;0.8,0.8)	(0.061,0.06,0.063,0.068;1,1) (0.061,0.06,0.063,0.067;0.8,0.8)	0.0630
		LGP_2	Побољшано управљање знањем		(0.384,0.405,0.417,0.410;1,1) (0.39,0.408,0.417,0.412;0.8,0.8)	(0.066,0.071,0.079,0.083;1,1) (0.068,0.072,0.078,0.082;0.8,0.8)	0.0750
		LGP_3	Поједностављење комплексних послова		(0.263,0.252,0.249,0.257;1,1) (0.26,0.251,0.248,0.254;0.8,0.8)	(0.045,0.044,0.047,0.052;1,1) (0.045,0.044,0.047,0.051;0.8,0.8)	0.0472

Табела 36. Резултати QFD анализе: стратешки доприноси PLM функционалних подручја

PLM функционална подручја (t_j)		Стратешки доприноси PLM функционалних подручја ($\tilde{v}_j$)	Дефазификоване вредности (w_i)
FP_1	Product Structure Management	(0.481,0.671,0.721,0.859;1,1) (0.606,0.694,0.701,0.746;0.8,0.8)	0.6817
FP_2	Product Configuration Management	(0.316,0.504,0.550,0.690;1,1) (0.429,0.521,0.535,0.578;0.8,0.8)	0.5120
FP_3	Design Release and Change Management	(0.480,0.657,0.702,0.826;1,1) (0.601,0.680,0.682,0.720;0.8,0.8)	0.6653
FP_4	Classification Management	(0.169,0.258,0.288,0.364;1,1) (0.220,0.263,0.283,0.312;0.8,0.8)	0.2690
FP_5	Product Document Management	(0.302,0.474,0.522,0.654;1,1) (0.403,0.487,0.511,0.553;0.8,0.8)	0.4857
FP_6	Requirement Management	(0.3,0.492,0.541,0.682;1,1) (0.411,0.507,0.528,0.570;0.8,0.8)	0.5005
FP_7	Systems Architecture Management	(0.471,0.637,0.685,0.803;1,1) (0.582,0.654,0.669,0.711;0.8,0.8)	0.6491
FP_8	Cross-domain Product Design Collaboration	(0.6,0.760,0.802,0.904;1,1) (0.720,0.784,0.781,0.817;0.8,0.8)	0.7682
FP_9	Simulation Process and Data Management	(0.377,0.530,0.571,0.683;1,1) (0.475,0.545,0.559,0.594;0.8,0.8)	0.5392
FP_10	Digital Manufacturing/Bill of Processes	(0.247,0.408,0.452,0.578;1,1) (0.345,0.424,0.438,0.476;0.8,0.8)	0.4185
FP_11	3D Visualization and Digital Mockup	(0.242,0.398,0.437,0.554;1,1) (0.333,0.409,0.426,0.463;0.8,0.8)	0.4054
FP_12	Manufacturing Process Planning	(0.346,0.476,0.518,0.621;1,1) (0.431,0.490,0.505,0.544;0.8,0.8)	0.4899
FP_13	Service Engineering	(0.155,0.245,0.272,0.352;1,1) (0.206,0.249,0.267,0.296;0.8,0.8)	0.2547
FP_14	Environmental Compliance Management	(0.235,0.383,0.422,0.538;1,1) (0.322,0.394,0.412,0.447;0.8,0.8)	0.3922
FP_15	Supply Chain Collaboration and Source Management	(0.236,0.418,0.465,0.601;1,1) (0.342,0.433,0.452,0.494;0.8,0.8)	0.4272
FP_16	Quality Planning and Management	(0.396,0.565,0.607,0.717;1,1) (0.507,0.584,0.591,0.624;0.8,0.8)	0.5704
FP_17	Analytics and Reporting	(0.092,0.207,0.239,0.333;1,1) (0.153,0.211,0.236,0.268;0.8,0.8)	0.2161
FP_18	Program and Project Management	(0.124,0.217,0.247,0.328;1,1) (0.176,0.222,0.242,0.271;0.8,0.8)	0.2274
FP_19	Product Cost Management	(0.122,0.215,0.240,0.311;1,1) (0.175,0.221,0.234,0.257;0.8,0.8)	0.2204

8.6 Анализа утицаја имплементације PLM-а на организационе способности развоја нових производа

Анализа утицаја имплементације PLM-а на организационе способности развоја нових производа представља резултат истраживања публикованог у раду Пузовић и др. [335]. Сагласно моделу представљеном у потпоглављу 7.9.3 анализа је укључила два аспекта:

- мапирање латентних потреба ППС-а у контексту оптимизације процеса развоја нових производа и
- квантификацију утицаја PLM функционалних подручја на организационе способности развоја нових производа.

У основи анализе је евалуација процеса развоја нових производа применом нормативно-контингентног модела који је у оквиру дисертације успостављен (детаљно представљен у потпоглављу 7.9.3). Модел установљен по узору на тзв. *оквире најбоље праксе*, пружа аналитички оквир уз помоћ ког предузећа могу утврдити потенцијална подручја и приоритете оптимизације процеса развоја нових производа. Треба нагласити да модел нема потенцијал да процени укупни развојни статус организације у погледу овладавања најбољом праксом развоја нових производа, те да је његова примена ограничена на специфични истраживачки контекст, који се односи на успостављање подршке дефинисању оптималне стратегије имплементације PLM-а. У том контексту, модел пружа фрагментисан приступ евалуацији, фокусирајући се искључиво на домен утицаја PLM-а.

Идентификоване потребе се затим мапирају са PLM функционалним подручјима применом QFD анализе у IT2F окружењу, према моделу представљеном у потпоглављу 5.6. Као резултат изводе се квантитативни показатељи утицаја специфичних PLM функционалних подручја на организационе способности развоја нових производа у контекстуалним околностима специфичним за предузеће. У наставку је приказана студија случаја представљена у раду Пузовић и др. [335].

Евалуација процеса развоја нових производа

Прилагођавање упитника у складу са потребама предузећа

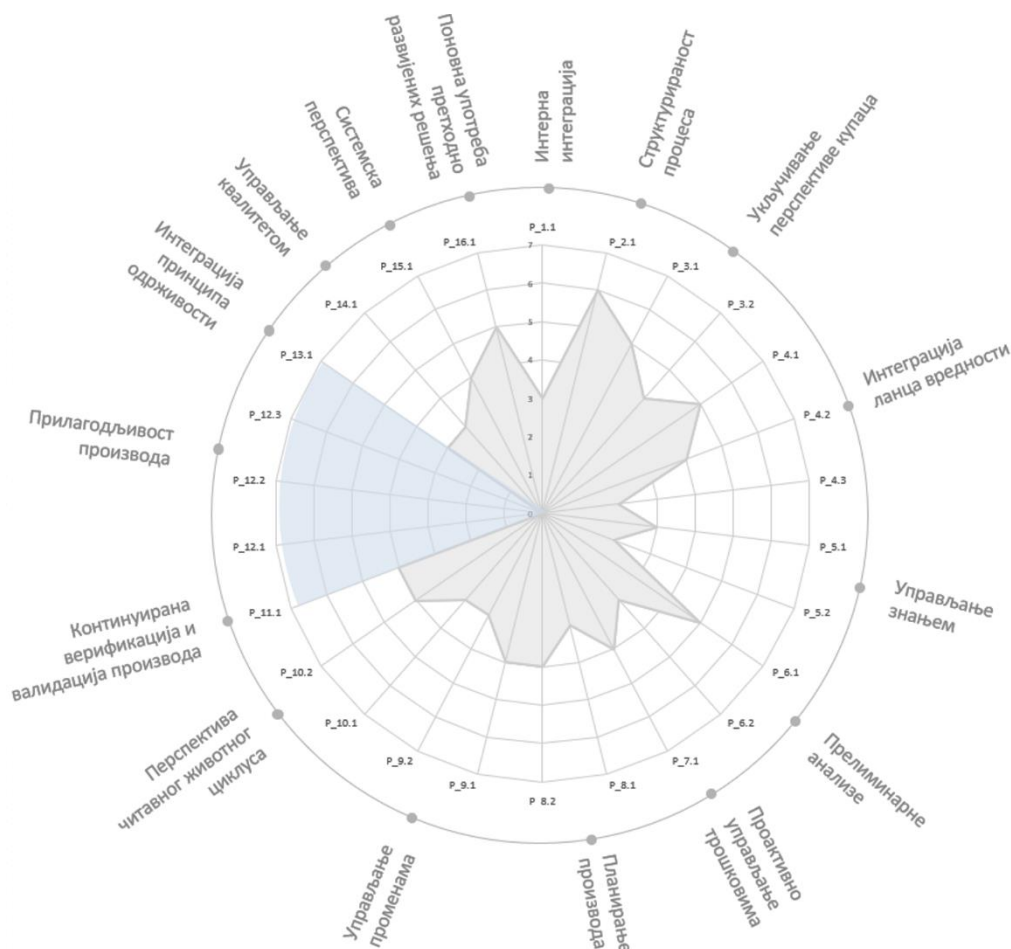
Након увида у структуру упитника, упознавања са циљевима истраживања и конструктивне дискусије са представницима предузећа, тим аналитичара укључен у процес евалуације сугерисао је да се из упитника изоставе праксе *P_12.1*, *P_12.2* и *P_12.3*, које се односе на успостављање модела развоја производа који подржавају концепт масовног прилагођавања; успостављање механизма за подршку прилагођавању производа и механизма подршке за постизање захтеваног нивоа интеграције купаца у процесе реализације оваквих производа. Уз констатацију да индустријски контекст у коме предузеће делује, концепт производа, производне стратегије и тренутне преференције потрошача искључују потребу за усвајањем оваквих пракси, те да концепт прилагођавања производа преференцијама појединачног потрошача није део стратешког опредељења предузећа у домену управљања производима.

Анализа и евиденција тренутног статуса предузећа и утврђивање потенцијала побољшања у специфичним доменима

За потребе евалуације развојног статуса организације у односу на нормативе процене ангажован је тим аналитичара који је укључио представнике академске заједнице у релевантним научним областима. Процес евалуације се базира на упитнику предвиђеном моделом (слика 52), чија структура укључује 16 димензија процене и укупно 26 карактеризација референтних пракси које служе као нормативи процене. У односу на првобитни модел, из анализе је изостављена димензија *P_12 Прилагодљивост производа*, укључујући праксе *P_12.1*, *P_12.2* и *P_12.3*.

Процес евалуације је укључио демаркирање радних рутина предузећа на основу информација прикупљених кроз серију полуструктурираних интервјуа са релевантним носиоцима информација, укључујући представнике пословних функција истраживања и развоја, техничке припреме, производње и монтаже, финансија, снабдевања и управљања квалитетом; увид у прописане процедуре и стандарде рада; анализу радне документације и друге релевантне изворе информација. Процене усаглашености постојећих радних рутина предузећа у односу на нормативне дефинисане моделом се моделирају лингвистичким карактеризацијама, сагласно скали датом у табели 20. Имајући у виду да се овакве процене могу заснивати на приближном резонувању, недовољно прецизним или двосмисленим подацима итд., математичким описивањем лингвистичких моделираних преференција применом теорије IT2F скупова редукује се ниво неодређености и омогућава да се варијабле у процесу евалуације третирају са задовољавајућим нивоом тачности.

Резултати евалуације (слика 54) откривају слабости у процесима развоја нових производа (подручја са ниским нивоом усаглашености у односу на стандардне најбоље праксе), упућујући на потенцијална подручја оптимизације. Док се потенцијал унапређења утврђује као мера одстојања дијагностификованог нивоа усаглашености са стандардима најбоље праксе у односу на највиши ниво софистицираности на скали евалуације, односно њима припадајућих IT2TrF бројева. Ове вредности се изводе сагласно математичкој процедури за одређивање дистанце између два IT2TrF броја датог у (24) и приказане су у табели 38.



Слика 54. Резултати евалуације процеса развоја нових производа применом предложеног нормативно-контингентног модела [335]

Према резултатима анализе низак ниво усаглашености у односу на усвојене стандарде најбоље праксе предузеће испољава у домену *управљања знањем, интеграције принципа одрживости, интерне интеграције, усвајања перспективе читавог животног циклуса у развоју производа* итд. У наставку су кратко коментарисани неки од могућих извора неефикасности у наведеним доменима.

Мимо базичних ИТ алата за обраду информација, не постоје напредни системи који би омогућили успешну имплементацију програма управљања знањем (екстраховање знања, односно откривање и контекстуализацију информација о производу, репрезентацију знања у одговарајућем контексту, његову трансформацију и дељење итд.). Због ниске интероперабилности између постојећих система, знање је углавном фрагментирано у изолованим силосима. Такође процес развоја производа се у највећој мери ослања на неструктурирано и контекстуално знање запослених, које најчешће није кодификовано кроз системске механизме због чега остаје у имплицитном облику. Системи који су у употреби су махом оријентисани на кодификовано знање, док контекстуално знање остаје изван њиховог домена, при чему недостају одговарајући механизми за хватање прећутног знања и његово укључивање у постојеће моделе података.

Такође, предузеће не показује значајнију отвореност према екстерним изворима знања (добављачи, тржиште, универзитети итд.) у процесима развоја производа, на супрот томе постоји преферентност према коришћењу интерних, лакше доступних извора и већ акумулираног знања. Анализа упућује и на низак апсорпциони капацитет предузећа који се тиче препознавања вредности екстерних информација и знања (нпр. о преференцијама купаца, новим технологијама, непознатим тржиштима итд.), њихову асимилацију и експлоатацију у комерцијалне сврхе.

Одређене слабости се уочавају и у домену интерне интеграције, наиме не постоје посебно разрађени механизми за структурирање и координацију крос-функционалних интеракција у процесима развоја производа, ове интеракције се углавном односе на размену информација, мање на сарадњу и заједничко ангажовање специјализованих функционалних група. Одређени облици заједничког ангажовања и сарадње се успостављају тек у каснијим корацима, као што је тестирање решења у односу на технолошку и оперативну изводљивост, при чему они нису својствени раним фазама развоја производа као што је дефинисање концепта и инжењеринга производа.

Проблеме у домену крос-функционалне сарадње прати и недостатак ефикасних механизма, који подржавају комуникацију и координацију између различитих функционалних група, при чему не постоји флексибилна ИТ платформа, која би обезбедила заједнички приступ и размену информација о производу који се развија, као што су медији за комуникацију и ширење информација у реалном времену или решења која би омогућила континуирану синхронизацију више извора информација. Такође постојећи системи не успевају да знање створено кроз координисану размену између појединаца из различитих функционалних области буде кодификовано и сачувано.

Иако су одређени облици сарадње са партнерима у ланцу снабдевања успостављени, она се махом своди на консултације и периодичне размене оперативних података, без разрађених механизма за размену информација у реалном времену, трансфер знања и синхронизацију процеса, при чему је ограничавајући фактор недостатак централизованих датотека са следљивим променама, централизованих процеса, комуникационих канала и протокола за инжењерске промене итд. Док се облици сарадње који би укључили директне интервенције у активности добављача у циљу унапређења њихових компетенција ретко реализују, нису систематски подржани и углавном су засновани на индивидуалним иницијативама.

Анализа упућује и на низак ниво усаглашености у домену пракси одрживог развоја производа, што укључује стварање еколошки прихватљивих, економски одрживих и друштвено одговорних производа. Осим захтева који се односе на енергетску ефикасност производа и рационалнију употребу материјала, процес развоја производа није вођен принципима одрживости који се тичу питања штетних емисија, примене материјала из еколошки оправданих извора, материјала погодних за рециклажу, растављање производа, отпада итд. Штавише, нису успостављени системски приступи и формалне процедуре које би подржале имплементацију иницијатива као што су *Design for Environment (DFE)* и *LCA* или друге праксе које се односе на процену одрживости донетих одлука или анализу ризика по усаглашеност производа у односу на регулативе.

Иако се одређене праксе везане за DFX методологије примењују, а тичу се дизајна производа за оптимизовану производњу, симулације за предвиђање и оптимизацију перформанси и континуирано усавршавање дизајна на основу података о перформансама, оне изостају у домену оптимизује дизајна производа за ефикасније ланце снабдевања и управљање залихама, дизајн производа са оптималним бројем компоненти и интуитивним процесима састављања за краће време и поједностављену монтажу или оптимизацију дизајна за лакше откривање и дијагнозу грешака, смањено време и трошкове тестирања итд.

Оцена релевантности референтних пракси за предузеће

У циљу постизања релевантности модела евалуације за контекст у коме предузеће делује уводи се контингентни приступ у дефинисању норматива процене. Полазећи од премисе да утицај различитих пракси на варијабле ефикасности и ефективности процеса развоја нових производа није униформна категорија већ се мора разматрати у контексту специфичном за предузеће, модел уводи оцену релативног значаја пракси за предузеће, процењујући њихову кохерентност у односу на стратешко опредељење организације у развоју нових производа, с тим у вези утврђује се:

- релативни приоритет циљева у развоју нових производа;
- утицај референтних пракси на подстицање појединачних циљева у развоју нових производа, узимајући у обзир околности специфичне за предузеће.

Приоритизација циљева у развоју нових производа

Процес приоритизације циљева се изводи према Buckley-овог [57] моделу АНР методе чији је математички модел развијен у IT2F окружењу у циљу моделирања неодређености и несигурности инхерентних овом процесу (детаљније дато у потпоглављу 5.2).

За потребе процеса приоритизације ангажован је део аналитичког тима коју укључује представнике ППС-а. Формирани тим је крос-функционалног карактера како би се узеле у обзир перспективе различитих заинтересованих страна у процесу развоја производа и укључује укупно 5 учесника. Након упознавања са проблемом одлучивања, од учесника је затражено да искажу своје перцепције по питању оријентисаности предузећа према специфичним циљевима у процесу развоја производа, дефинишући преференцијалне односе кроз процес упоредног поређења атрибута приоритизације, који у овом случају укључују циљеве:

IG_1 – краће време развојног циклуса;

IG_2 – већи квалитет производа;

IG_3 – нижи трошкови и

IG_4 – већи ниво иновативности развијених решења.

Своје перцепције учесници исказују користећи се лингвистичким карактеризацијама (табела 7) које се у предложеном процесу приоритизације третирају као нејасне. У циљу моделовања неодређености врши се математичко описивање утврђених преференцијалних

односа применом IT2TrF бројева, сагласно скали процене дате у табели 7. Као резултат, успостављају се индивидуалне матрице преференцијалних односа ($\tilde{A} = \{\tilde{a}_{ij}\}_{n \times n}$) (25), (n представља укупан број циљева обухваћених процесом приоритизације).

У циљу откривања и отклањања евентуалних недоследности процена спроведен је тест конзистентности за све матрице преференцијалних односа успостављене у првом кораку процеса. Верификација конзистентности је извршена на основу параметра CR , који се одређује према процедури коју дефинише *Saaty* [357] (58 и 59), а која је детаљно представљена у потпоглављу 8.1. Према резултатима теста (табела 37) ниво недоследности свих индивидуалних матрица преференцијалних односа је у прихватљивим границама, односно $CR_k < 10\%$ ($k = 1, \dots, K$), при чему је K укупан број учесника у процесу приоритизације.

Следи агрегација индивидуалних преференција ($\tilde{a}_{ij}^k$) и конструисање агрегатне матрице преференцијалних односа сагласно (29 и 30). Затим генерисање IT2TrF геометријске средине ($\tilde{r}_i$) за сваки ред агрегатне матрице преференцијалних односа према (31) и на бази ових вредности извођење IT2TrF тежинских вектора циљева ($\tilde{w}_i$) према (32).

Резултати процеса приоритизације су приказани у табели 37, добијени релативни приоритети одражавају стратешко опредељење организације у развоју нових производа, у конкретном примеру упућују на доминантну оријентисаност предузећа према развоју производа високог квалитета укључујући усаглашеност са захтевима корисника и важећим индустријским стандардима и регулативама, док се циљевима *краће време развојног циклуса*, *нижи трошкови* и *већи ниво иновативности развијених решења*, додељују нешто нижи, приближни приоритети.

Евалуација утицаја пракси на циљеве у развоју нових производа у контекстуалним околностима специфичним за предузеће

Анализа утицаја референтних пракси на циљеве развоја нових производа узимајући у обзир контекст специфичан за предузеће се заснива на принципима QFD анализе. У циљу превазилажења ограничења које испољава њен конвенционални модел уводе се модификације у домену моделовања преференција QFD аналитичара, које се односе на фазификацију улазних података у НоQ матрицу применом IT2TrF бројева. Предложени QFD процес корелира референтне праксе систематизоване у оквиру модела евалуације (слика 52), које се у контексту спроведене анализе третирају као атрибут квалитета ($t_j, j = 1, 2, \dots, m$) са циљевима у развоју нових производа који се усвајају као атрибут захтева ($d_i, i = 1, 2, \dots, n$). Као релативни значај атрибута захтева ($\tilde{w}_i$) усвајају се тежински коефицијенти, изведени на основу претходно спроведеног процеса приоритизације циљева.

За потребе анализе, формирана су три QFD тима, како би се интегрисале интердисциплинарне експертизе тимови укључују представнике академске заједнице у релевантним научним областима, представнике различитих функционалних група у оквиру ППС-а и представнике менаџмента ППС-а.

Рад QFD тимова је организован у форми панела у оквиру који се развија матрица релација ($\tilde{X}^l = (\tilde{x}_{ij}^l)_{n \times m}$) тако што се свакој откривеној $d_i - t_j$ релацији додељује одговарајућа лингвистичка карактеризација (према скали приказаној у табели 10) којима се описује потенцијални утицај разматране праксе на стимулисање циљева у развоју нових производа у околностима специфичним за предузеће. Ове околности су одређене:

- индустријом;
- величином предузећа;
- сложености производа;

- производним стратегијама;
- природом и сложености интеракција са тржиштем;
- утицајима из окружења итд.

Лингвистичке варијабле коришћене за описивање $d_i - t_j$ релација се третирају као нејасне имајући у виду могућа оклевања у процени, недоследности, приближна резонанања и друге несигурности својствене људском когнитивном процесу. Сходно томе, усвајају се IT2TrF бројеви за њихово математичко описивање, сагласно скали датој у табели 10. Појединачне процене QFD тимова су агрегиране према (47), као резултат формирана је агрегатна матрица релација $((\tilde{x}_{ij})_{n \times m})$ приказана у табели 38.

Следи сублимирање откривених $d_i - t_j$ релација према формули (49). Као резултат изводе се IT2TrF релативне тежине референтних пракси $(\tilde{y}_j)$, које одражавају њихову релевантност у односу на стратешко опредељење у развоју производа у пословним околностима специфичним за предузеће. У том контексту, највећи релативни приоритет додељује се пракси $P_{1.1}$ која се односи на успостављање крос-функционалне сарадње и ангажовања у процесима развоја производа, развој механизма за координацију међуфункционалних интеракција итд. Затим пракси $P_{10.1}$ која се тиче увођења перспективе читавог животног циклуса у развоју нових производа, нпр. примена DFM, DFA и других DFX принципа.

Висок степен релевантности за предузеће, према анализи, показује и пракса $P_{9.1}$ која се односи на успостављање системског интердисциплинарног процеса управљања променама, ефикасних механизма за координацију промена кроз различите домене, интегрисање свих релевантних аспеката процеса дуж ланца вредности итд., укључујући и $P_{8.2}$ односно успостављање системског процеса управљања захтевима у вези са производом; повезивање захтева са процесима имплементације и њихово интегрисање у све аспекте развоја производа.

Изведене релативне тежине не укључују аутокорељације, будући да QFD аналитичара нису идентификовали изражене корелирајуће односе између пракси обухваћених анализом.

Утврђивање приоритета побољшања

Приоритет побољшања у домену специфичне праксе се утврђује множењем њеног релативног значаја, изведеног на основу претходно спроведене QFD анализе и процењеног потенцијала унапређења (табела 38). Примене специфичних пракси обухваћених моделом се у контексту предложеног приступа посматрају као потенцијална подручја оптимизације, док су потребе предузећа за оптимизацијом процеса развоја нових производа одређене приоритетом побољшања у домену специфичне праксе. У том контексту, резултати анализе упућују на приоритет оптимизације у домену:

- успостављања крос-функционалне перспективе у процесима развоја нових производа и развоја механизма међуфункционалне сарадње ($P_{1.1}$);
- увођење перспективе читавог животног циклуса у развоју нових производа ($P_{10.1}$);
- интегрисање и употребу различитих формалних извора знања у свим аспектима развоја производа и поновну употребу претходно акумулираног експлицитног знања о производу ($P_{5.1}$);
- интегрисање процеса планирања, контроле и континуираног унапређења квалитета производа од раних фаза процеса његовог развоја ($P_{14.1}$);
- успостављање ефикасних механизма за свеобухватну анализу утицаја промена на ефикасност пројеката, перформансе производа и производне системе, технолошке изводљивости, пословних импликација итд. ($P_{9.1}$).

Квантификовање утицаја PLM функционалних подручја на оптимизацију организационих способности за развој нових производа

Анализа и квантификовање утицаја PLM функционалних подручја на процесе развоја нових производа се заснива на принципима QFD анализе, при чему се користи QFD модел развијен у IT2F окружењу. Предложени QFD процес као атрибуте захтеве ($d_i, i = 1, 2, \dots, n$) усваја референтне праксе у развоју нових производа (слика 52), које се у контексту предложеног модела третирају као потенцијална подручја оптимизације и заједно са релативним приоритетима побољшања ($\tilde{w}_i$) упућују на специфичне потребе ППС-а. Ове потребе се корелирају са компетенцијама специфичним за PLM функционална подручја, специфицирана у оквиру успостављеног PLM функционалног модела (потпоглавље 7.10), која се у предложеној QFD анализи третирају као атрибути квалитета ($t_j, j = 1, 2, \dots, m$).

За потребе анализе формирана су три QFD тима, први тим укључује представнике ППС-а, при чему је тим крос-функционалног карактера; други тим окупља представнике академске заједнице у релевантним научним областима и трећи стручњаке са експертизом у области имплементације PLM-а.

QFD тимови развијају појединачне матрице релација ($\tilde{X}^l = (\tilde{x}_{ij}^l)_{n \times m}$) додељујући свакој откривеној релацији лингвистичку карактеризацију сагласно одговарајућој скали (табела 10) која описује способност PLM компетенција специфичних за одређено функционално подручје да подрже имплементацију корелирајуће праксе, узимајући у обзир околности специфичне за предузеће. Како би се на одговарајући начин узеле у обзир могуће недоследности људског резонувања, немогућност артикулисања субјективних перцепција на апсолутно прецизан начин и други извори неодређености, врши се фазификација улазни података у процес QFD анализе, при чему се лингвистичке варијабле преводе у одговарајуће IT2TrF вредности (табела 10).

Следи агрегација појединачних матрица релација генерисаних од стране QFD тимова према релацији (47), агрегирана матрица релација ($\tilde{X} = (\tilde{x}_{ij})_{n \times m}$) је приказана у прилогу 5. Затим и одређивање релативних тежина PLM функционалних подручја ($\tilde{y}_j$) из релација дефинисаних у агрегираној матрици сагласно процедури детаљно објашњеној у потпоглављу 5.6. Резултати QFD анализе су приказани у табели 39.

Изведене релативне тежине представљају квантитативни показатељ утицаја PLM функционалних подручја на оптимизацију организационих способности развоја нових производа. Сагласно QFD анализи највећи релативни утицај на организационе способности развоја нових производа у случају разматраног предузећа има увођење PLM функционалног подручја *Cross-domain Product Design Collaboration*, који према резултатима има потенцијално висок утицај на оптимизације у домену пракси *P_1.1*, *P_5.1*, *P_6.2*, *P_8.2* и *9.1*, следи *Product Structure Management* (праксе *P_1.1* и *P_9.1*), *Design Release and Change Management* (праксе *P_1.1*, *P_8.2*, *P_9.1* и *P_9.2*), *Simulation Process and Data Management* (праксе *P_6.2* и *P_1.1*) и *Requirement Management* (праксе *P_8.2* и *P_9.1*). Имајући увид у тренутне потребе ППС-а, њихове релативне приоритете и специфичне околности у којима послује, најмањи релативни приоритет у контексту утицаја на организационе способности развоја нових производа има развој PLM компетенција у домену *Classification Management* и *Analytics and Reporting*.

Табела 37. Резултати приоритизације циљева у процесу развоја нових производа применом IT2FАНР методе

Циљеви у развоју нових производа		Агрегатна матрица упоредног поређења ($\tilde{A}$)				IT2TrF геометријска средина ($\tilde{r}_i$)	IT2TrF тежински вектори ($\tilde{w}_i$)	Дефазификоване вредности (w_i)
		IG_1	IG_1	IG_1	IG_1			
IG_1	Краће време развојног циклуса	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0,12,0,13,0,17,0,21;1,1) (0,12,0,13,0,16,0,20;0,8,0,8)	(0,72,0,76,0,87,1;1,1) (0,73,0,77,0,85,0,96;0,8,0,8)	(0,22,0,25,0,37,0,53;1,1) (0,22,0,26,0,35,0,48;0,8,0,8)	(0,45,0,48,0,56,0,64;1,1) (0,45,0,48,0,55,0,62;0,8,0,8)	(0,113,0,104,0,1,0,104;1,1) (0,111,0,103,0,1,0,103;0,8,0,8)	0.1052
IG_2	Већи квалитет производа	(4,83,5,86,7,73,8,56;1,1) (5,04,6,07,7,53,8,40;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(5,16,6,21,7,92,8,56;1,1) (5,37,6,41,7,71,8,43;0,8,0,8)	(2,14,3,29,5,4,6,43;1,1) (2,38,3,51,5,2,6,23;0,8,0,8)	(2,22,2,6,3,19,3,43;1,1) (2,3,2,67,3,13,3,38;0,8,0,8)	(0,556,0,569,0,572,0,556;1,1) (0,559,0,571,0,572,0,56;0,8,0,8)	0.5652
IG_3	Нижи трошкови	(1,1,1,15,1,32,1,38;1,1) (1,04,1,17,1,31,1,37;0,8,0,8)	(0,12,0,13,0,16,0,19;1,1) (0,12,0,13,0,16,0,19;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0,68,0,92,1,32,1,53;1,1) (0,73,0,96,1,28,1,48;0,8,0,8)	(0,6,0,67,0,78,0,84;1,1) (0,62,0,68,0,76,0,82;0,8,0,8)	(0,151,0,146,0,139,0,136;1,1) (0,15,0,145,0,14,0,137;0,8,0,8)	0.1430
IG_4	Већи ниво иновативности развијених решења	(1,9,2,7,4,4,58;1,1) (2,08,2,84,3,88,4,47;0,8,0,8)	(0,16,0,19,0,3,0,47;1,1) (0,16,0,19,0,29,0,42;0,8,0,8)	(0,65,0,76,1,08,1,48;1,1) (0,67,0,78,1,04,1,36;0,8,0,8)	(1,1,1,1;1,1) (1,1,1,1;0,8,0,8)	(0,72,0,82,1,06,1,26;1,1) (0,74,0,84,1,03,1,21;0,8,0,8)	(0,181,0,18,0,189,0,204;1,1) (0,18,0,18,0,188,0,2;0,8,0,8)	0.1884
$CR_1 = 0,0735$; $CR_2 = 0,0714$; $CR_3 = 0,0786$; $CR_4 = 0,0787$; $CR_5 = 0,0623$								

Табела 38. QFD анализа: одређивање релевантности референтних пракси

Агрегатна матрица релација ($\tilde{X}$)					Релативни значај референтних пракси ($\tilde{y}_j$)		Потенцијал унапређења	Приоритет побољшања у домену специфичне праксе	
Референтне праксе у развоју нових производа (t_j)	Циљеви у развоју нових производа (d_i) и њихови релативни приоритети ($\tilde{w}_i$)								
	Краће време развојног циклуса	Већи квалитет производа	Нижи трошкови	Већи ниво иновативности развијених решења					
	(0.113,0.104,0.1,0.104;1,1) (0.111,0.103,0.1,0.103;0.8,0.8)	(0.556,0.569,0.572,0.556;1,1) (0.559,0.571,0.572,0.56;0.8,0.8)	(0.151,0.146,0.139,0.136;1,1) (0.15,0.145,0.14,0.137;0.8,0.8)	(0.181,0.18,0.189,0.204;1,1) (0.18,0.18,0.188,0.2;0.8,0.8)	IT2TrF вредности	Дефазиф. вредности		IT2TrF вредности	Дефазиф. вредности
P_1.1	(0.83,0.95,0.97,1;1,1) (0.9,0.95,0.97,0.98;0.9,0.9)	(0.83,0.95,0.97,1;1,1) (0.9,0.95,0.97,0.98;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.77,0.9,0.93,0.99;1,1) (0.84,0.9,0.93,0.95;0.8,0.8)	0.8965	0.6743	(0.516,0.606,0.624,0.665;1,1) (0.568,0.606,0.624,0.642;0.8,0.8)	0.6045
P_2.1	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.07,0.23,0.28,0.43;1,1) (0.15,0.23,0.28,0.33;0.9,0.9)	(0.31,0.49,0.53,0.67;1,1) (0.40,0.49,0.53,0.58;0.8,0.8)	0.4991	0.1275	(0.039,0.062,0.068,0.086;1,1) (0.052,0.062,0.068,0.074;0.8,0.8)	0.0636
P_3.1	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.43,0.62,0.67,0.8;1,1) (0.53,0.62,0.67,0.72;0.9,0.9)	(0.49,0.68,0.73,0.86;1,1) (0.59,0.68,0.73,0.78;0.8,0.8)	0.6882	0.2823	(0.138,0.191,0.206,0.244;1,1) (0.166,0.191,0.206,0.219;0.8,0.8)	0.1943
P_3.2	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.57,0.74,0.80,0.91;1,1) (0.67,0.74,0.80,0.85;0.8,0.8)	0.7589	0.4766	(0.273,0.354,0.380,0.435;1,1) (0.321,0.355,0.380,0.404;0.8,0.8)	0.3617
P_4.1	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.07,0.23,0.28,0.43;1,1) (0.15,0.23,0.28,0.33;0.9,0.9)	(0.40,0.60,0.64,0.78;1,1) (0.50,0.60,0.64,0.69;0.8,0.8)	0.6018	0.2823	(0.113,0.168,0.181,0.221;1,1) (0.140,0.168,0.181,0.194;0.8,0.8)	0.1699
P_4.2	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.59,0.77,0.82,0.94;1,1) (0.69,0.77,0.82,0.87;0.8,0.8)	0.7793	0.4766	(0.282,0.365,0.390,0.447;1,1) (0.330,0.365,0.390,0.413;0.8,0.8)	0.3715
P_4.3	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.07,0.23,0.28,0.43;1,1) (0.15,0.23,0.28,0.33;0.9,0.9)	(0.31,0.51,0.56,0.70;1,1) (0.41,0.51,0.56,0.61;0.8,0.8)	0.5191	0.8526	(0.268,0.436,0.477,0.600;1,1) (0.351,0.436,0.478,0.516;0.8,0.8)	0.4426
P_5.1	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.61,0.78,0.83,0.94;1,1) (0.71,0.78,0.83,0.88;0.8,0.8)	0.7930	0.6743	(0.412,0.525,0.559,0.636;1,1) (0.480,0.526,0.559,0.591;0.8,0.8)	0.5348
P_5.2	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.32,0.52,0.57,0.72;1,1) (0.42,0.52,0.57,0.62;0.8,0.8)	0.5341	0.8526	(0.277,0.447,0.490,0.618;1,1) (0.362,0.447,0.490,0.533;0.8,0.8)	0.4554
P_6.1	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.5,0.68,0.73,0.87;1,1) (0.6,0.68,0.73,0.78;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.57,0.74,0.79,0.91;1,1) (0.67,0.74,0.79,0.84;0.8,0.8)	0.7528	0.2823	(0.160,0.209,0.223,0.258;1,1) (0.188,0.209,0.223,0.236;0.8,0.8)	0.2125
P_6.2	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.57,0.73,0.78,0.9;1,1) (0.67,0.73,0.78,0.83;0.9,0.9)	(0.63,0.78,0.82,0.9;1,1) (0.72,0.78,0.82,0.85;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.56,0.74,0.78,0.9;1,1) (0.66,0.74,0.78,0.83;0.8,0.8)	0.7478	0.6743	(0.381,0.497,0.528,0.609;1,1) (0.446,0.497,0.528,0.560;0.8,0.8)	0.5042
P_7.1	(0.17,0.37,0.42,0.57;1,1) (0.27,0.37,0.42,0.47;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.13,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.22,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.26,0.45,0.50,0.64;1,1) (0.35,0.45,0.50,0.54;0.8,0.8)	0.4578	0.4766	(0.123,0.214,0.236,0.305;1,1) (0.169,0.214,0.236,0.259;0.8,0.8)	0.2182
P_8.1	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.29,0.49,0.54,0.69;1,1) (0.39,0.49,0.54,0.59;0.8,0.8)	0.4994	0.6743	(0.196,0.331,0.364,0.464;1,1) (0.263,0.331,0.364,0.397;0.8,0.8)	0.3368
P_8.2	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.77,0.9,0.93,1;1,1) (0.85,0.9,0.93,0.97;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.65,0.81,0.86,0.95;1,1) (0.74,0.81,0.86,0.89;0.8,0.8)	0.8195	0.4766	(0.310,0.388,0.408,0.454;1,1) (0.354,0.388,0.408,0.426;0.8,0.8)	0.3906
P_9.1	(0.77,0.9,0.93,1;1,1) (0.85,0.9,0.93,0.97;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.88,0.97;1,1) (0.78,0.85,0.88,0.92;0.9,0.9)	(0.77,0.9,0.93,1;1,1) (0.85,0.9,0.93,0.97;0.9,0.9)	(0.5,0.68,0.73,0.87;1,1) (0.6,0.68,0.73,0.78;0.9,0.9)	(0.68,0.83,0.87,0.95;1,1) (0.77,0.83,0.87,0.9;0.8,0.8)	0.8353	0.4766	(0.325,0.397,0.413,0.455;1,1) (0.366,0.397,0.413,0.430;0.8,0.8)	0.3981
P_9.2	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.58,0.75,0.80,0.91;1,1) (0.68,0.75,0.80,0.84;0.8,0.8)	0.7633	0.6743	(0.393,0.507,0.539,0.614;1,1) (0.461,0.507,0.539,0.569;0.8,0.8)	0.5147
P_10.1	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.77,0.9,0.93,1;1,1) (0.85,0.9,0.93,0.97;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.76,0.9,0.92,0.97;1,1) (0.83,0.9,0.92,0.93;0.8,0.8)	0.8876	0.6743	(0.514,0.607,0.619,0.654;1,1) (0.562,0.607,0.619,0.630;0.8,0.8)	0.5985
P_10.2	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.64,0.8,0.84,0.93;1,1) (0.73,0.8,0.84,0.88;0.8,0.8)	0.8043	0.4766	(0.305,0.379,0.399,0.445;1,1) (0.350,0.379,0.399,0.419;0.8,0.8)	0.3834
P_11.1	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.83,0.95,0.97,1;1,1) (0.9,0.95,0.97,0.98;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.67,0.82,0.85,0.92;1,1) (0.75,0.82,0.85,0.88;0.8,0.8)	0.8173	0.4766	(0.320,0.391,0.405,0.439;1,1) (0.360,0.392,0.405,0.418;0.8,0.8)	0.3896

Агрегатна матрица релација ($\tilde{X}$)					Релативни значај референтних пракси ($\tilde{Y}_j$)		Потенцијал унапређења	Приоритет побољшања у домену специфичне праксе	
Референтне праксе у развоју нових производа (t_j)	Циљеви у развоју нових производа (d_i) и њихови релативни приоритети ($\tilde{w}_i$)								
	Краће време развојног циклуса	Већи квалитет производа	Нижи трошкови	Већи ниво иновативности развијених решења					
	(0.113,0.104,0.1,0.104;1,1) (0.111,0.103,0.1,0.103;0.8,0.8)	(0.556,0.569,0.572,0.556;1,1) (0.559,0.571,0.572,0.56;0.8,0.8)	(0.151,0.146,0.139,0.136;1,1) (0.15,0.145,0.14,0.137;0.8,0.8)	(0.181,0.18,0.189,0.204;1,1) (0.18,0.18,0.188,0.2;0.8,0.8)	IT2TrF вредности	Дефазиф. вредности		IT2TrF вредности	Дефазиф. вредности
P_13.1	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.57,0.73,0.78,0.9;1,1) (0.67,0.73,0.78,0.83;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.44,0.62,0.67,0.8;1,1) (0.54,0.62,0.67,0.72;0.8,0.8)	0.6343	0.6743	(0.295,0.420,0.455,0.541;1,1) (0.363,0.420,0.455,0.487;0.8,0.8)	0.4277
P_14.1	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.17,0.37,0.42,0.57;1,1) (0.27,0.37,0.42,0.47;0.9,0.9)	(0.65,0.8,0.82,0.87;1,1) (0.72,0.8,0.82,0.83;0.8,0.8)	0.7825	0.6743	(0.436,0.537,0.551,0.589;1,1) (0.486,0.538,0.551,0.561;0.8,0.8)	0.5277
P_15.1	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.77,0.9,0.92,0.97;1,1) (0.83,0.9,0.92,0.93;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.64,0.8,0.84,0.93;1,1) (0.72,0.8,0.84,0.87;0.8,0.8)	0.8001	0.4766	(0.304,0.383,0.398,0.442;1,1) (0.343,0.383,0.399,0.413;0.8,0.8)	0.3814
P_16.1	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.77,0.9,0.93,1;1,1) (0.85,0.9,0.93,0.97;0.9,0.9)	(0.17,0.37,0.42,0.57;1,1) (0.27,0.37,0.42,0.47;0.9,0.9)	(0.60,0.76,0.79,0.89;1,1) (0.69,0.76,0.8,0.83;0.8,0.8)	0.7624	0.2823	(0.169,0.214,0.224,0.252;1,1) (0.195,0.214,0.224,0.235;0.8,0.8)	0.2152

Табела 39. Резултати QFD анализе: утицај PLM функционалних подручја на оптимизацију организационих способности за развој нових производа

PLM функционална подручја (t_j)		Релативни утицај на оптимизацију организационих способности развоја нових производа ($\tilde{Y}_j$)	Дефазификоване вредности
FP_1	Product Structure Management	(2.525,4.336,4.843,6.353;1,1) (3.438,4.336,4.845,5.372;0.8,0.8)	4.4863
FP_2	Product Configuration Management	(1.151,2.752,3.259,4.889;1,1) (1.910,2.752,3.260,3.797;0.8,0.8)	2.9633
FP_3	Design Release and Change Management	(2.443,4.205,4.726,6.240;1,1) (3.350,4.205,4.728,5.270;0.8,0.8)	4.3795
FP_4	Classification Management	(0.772,1.504,1.726,2.400;1,1) (1.138,1.504,1.727,1.961;0.8,0.8)	1.5860
FP_5	Product Document Management	(1.625,3.109,3.521,4.809;1,1) (2.342,3.110,3.523,3.951;0.8,0.8)	3.2329
FP_6	Requirement Management	(2.022,4.020,4.606,6.459;1,1) 2.979,4.021,4.607,5.220;0.8,0.8)	4.2251
FP_7	Systems Architecture Management	(2.163,3.830,4.321,5.803;1,1) (2.996,3.830,4.322,4.834;0.8,0.8)	3.9977
FP_8	Cross-domain Product Design Collaboration	(3.120,5.207,5.809,7.566;1,1) (4.190,5.208,5.811,6.437;0.8,0.8)	5.3974
FP_9	Simulation Process and Data Management	(2.186,4.041,4.586,6.235;1,1) (3.108,4.042,4.588,5.156;0.8,0.8)	4.2263
FP_10	Digital Manufacturing/Bill of Processes	(1.706,3.139,3.554,4.828;1,1) (2.412,3.140,3.556,3.988;0.8,0.8)	3.2772
FP_11	3D Visualization and Digital Mockup	(1.667,3.157,3.605,5.006;1,1) (2.389,3.158,3.606,4.074;0.8,0.8)	3.3215
FP_12	Manufacturing Process Planning	(1.012,2.100,2.422,3.445;1,1) (1.532,2.101,2.423,2.760;0.8,0.8)	2.2156
FP_13	Service Engineering	(1.128,2.438,2.835,4.105;1,1) (1.753,2.438,2.836,3.257;0.8,0.8)	2.5899
FP_14	Environmental Compliance Management	(1.404,2.761,3.144,4.334;1,1) (2.059,2.761,3.145,3.541;0.8,0.8)	2.8795
FP_15	Supply Chain Collaboration and Source Management	(1.833,3.530,4.026,5.574;1,1) (2.656,3.530,4.028,4.544;0.8,0.8)	3.7005
FP_16	Quality Planning and Management	(1.948,3.689,4.193,5.810;1,1) (2.780,3.690,4.195,4.723;0.8,0.8)	3.8636
FP_17	Analytics and Reporting	(0.403,1.164,1.421,2.262;1,1) (0.759,1.164,1.422,1.694;0.8,0.8)	1.2846
FP_18	Program and Project Management	(1.462,2.533,2.882,3.870;1,1) (2.029,2.534,2.883,3.249;0.8,0.8)	2.6740
FP_19	Product Cost Management	(1.024,2.267,2.639,3.832;1,1) (1.614,2.267,2.640,3.031;0.8,0.8)	2.4051

8.7 Извођење ранга приоритета PLM функционалних подручја засновано на модификованом IT2FMULTIMOORA процесу

Извођење релативних приоритета PLM функционалних подручја се заснива на агрегацији преференција генерисаних применом интегралног виšekритеријумског модела, односно аналитичких оквира које укључује. Процес извођења корисности и генерисање ранга PLM функционалних подручја користи математички модел MULTIMOORA методе, који базира ранг алтернатива на потпуном компензаторском (RS), непотпуном компензаторском (FMP) и некомпензаторском (RPA) моделу.

Предложени модел користи модификовани MULTIMOORA процес који комбинује теорију IT2F скупова са конвенционалним MULTIMOORA математичким моделом, имајући у виду да су IT2TrF скупови коришћени за математичко описивање преференција у претходно спроведеном процесу виšekритеријумске анализе како би се превазишле недоследности и несигурности инхерентне овим процесима. Такође уводи се унапређено *Borda* правило за агрегацију резултата рангирања изведених према карактеристичним функцијама корисности заступљеним у конвенционалном MULTIMOORA моделу, што обезбеђује консистентнији ранг захваљујући интегрисању кардиналних и ординалних вредности. Процес рангирања изведен применом MULTIMOORA методе разматра скуп од деветнаест алтернатива $(\theta_j = \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$, у овом случају PLM функционалних подручја, усвојених из PLM функционалног модела (представљеног у потпоглављу 7.10), оцењених у систему од пет критеријума $(c_i = c_1, c_2, \dots, c_n)$ који представљају аспекте анализе предвиђене виšekритеријумским моделом, чији се релативни приоритети $\tilde{w}_i (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n)$ усвајају из АНР заснованог процеса приоритизације приказаног у потпоглављу 8.1.

Формирање виšekритеријумске матрице одлучивања

Усвајањем преференција генерисаних у претходним фазама процеса, приказаним у потпоглављима од 8.2 до 8.6, формира се виšekритеријумска матрица одлучивања $(\tilde{\delta}_{ij})_{n \times m}$ (табела 40), при чему $\tilde{\delta}_{ij}$ представља припадајућу IT2TrF вредност PLM функционалног подручја (θ_j) сагласно i -том аспекту.

Формирање нормализоване матрице одлучивања

Нормализована матрица одлучивања $(\tilde{n}\tilde{\delta}_{ij})_{n \times m}$ (табела 41) се изводи на основу векторске нормализације елемената иницијалне матрице виšekритеријумског одлучивања (34).

Извођење корисности и генерисање ранга алтернатива према RS приступу

Као математички алат за извођење корисности PLM функционалних подручја према RS приступу $(\tilde{\theta}_{jRS})$ користи се аритметичко пондерисање, односно, утврђује се разлика између пондерисаних нормализованих оцена $(\tilde{n}\tilde{\delta}_{ij})$ изведених према критеријумима *корисности* (аспекти анализе AA_5 и AA_6) и *трошковним* критеријумима (аспекти анализе AA_1, AA_2 и AA_3) (35), док се ранг алтернатива $r(\theta_{jRS})$ сагласно овом приступу генерише према опадајућем низу вредности $\tilde{\theta}_{jRS}$ (36).

Извођење корисности и генерисање ранга алтернатива према RPA приступу

Извођење корисности алтернатива према RPA приступу $(\tilde{\theta}_{jRPA})$ се заснива на одређивању MORP вектора $(\tilde{u}_i^*)$, генерисаног из нормализоване матрице $(\tilde{n}\tilde{\delta}_{ij})_{n \times m}$ према (37), при чему се корисност алтернативе изводи као максимално одстојање MORP вектора и

нормализоване оцене алтернативе ($\tilde{n}\tilde{d}_{ij}$) (табела 42), користећи се *Tchebycheff Min–Max* метриком (38 и 39), док се ранг алтернатива генерише према растућем низу $\tilde{\theta}_{jRPA}$ (39).

Извођење корисности и генерисање ранга алтернатива према FMF приступу

За извођење корисности PLM функционалних подручја према FMF приступу ($\tilde{\theta}_{jFMF}$) модел користи геометријско пондерисање утврђивањем односа између пондерисаних нормализованих оцена алтернатива ($\tilde{n}\tilde{d}_{ij}$), према критеријумима *корисности* и *трошковним* критеријумима (40), док се ранг алтернатива генерише према опадајућем низу $\tilde{\theta}_{jFMF}$ (41).

Агрегација резултата субординираног рангирања применом унапређеног *Borda* правила

Агрегација резултата субординираног рангирања према RS, RPA и FMF приступима се заснива на $IBC(\theta_j)$ вредности, која се изводи према унапређеном *Borda* правилу (44-46). *IBC* интегрише кардиналне вредности које одражавају степен пожељности алтернатива користећи нормализоване вредности корисности $n(\theta_{jRS})$, $n(\theta_{jRPA})$ и $n(\theta_{jFMF})$ и ординалне вредности $r(\theta_{jRS})$, $r(\theta_{jRPA})$ и $r(\theta_{jFMF})$. Коначни ранг алтернатива према унапређеном *Borda* правилу се генерише према опадајућем низу $IBC(\theta_j)$ вредности (44). Корисност алтернатива, субординирано рангирање и коначни ранг приказани су у табели 43.

Добијене $IBC(\theta_j)$ вредности дефинишу ранг приоритета PLM функционалних подручја сагласно специфичним потребама ППС-а. Упућујући на приоритет имплементационих напора, добијени резултати пружају објективне смернице за генерисање стратегије итеративног увођења PLM функционалних подручја у кохерентно, софтверски подржано PLM окружење узимајући у обзир:

- неопходна улагања на бази предикције трошкова имплементације и одржавања система, обухватајући на експлицитан начин организационе аспекте имплементационих напора;
- ефекте сложености пројекта имплементације на бази предикције отежавајућег утицаја својстава која произилазе из дивергентности елемената пројектног система, њихових међусобних интеракција и стохастичке природе на перцепцију, предвиђање и контролу понашања пројекта и њихових последица на циљеве пројекта;
- пословне вредности имплементације на бази предикције утицаја на пословне перформансе, уважавајући чињеницу да се овај утицај манифестује у различитим аспектима ефикасности оперативних процеса предузећа, унапређењу организационих снага и интерних организационих компетенција;
- ефекте неизвесности на исход пројекта имплементације на бази предикције околности које могу угрозити циљеве пројекта и њихових последица;
- допринос у контексту ширих иницијатива за трансформацију пословања у циљу постизања дугорочно одрживог раста и развоја на бази предикције утицаја на развој организационих способности развоја нових производа.

Овим се омогућава прилагођавање процеса имплементације специфичним потребама ППС-а, што заправо подразумева да се развој PLM компетенција одвија према моделу који је оптималан са аспекта пословних приоритета предузећа и ширих пословних околности у оквиру којих делује, уважавајући ограничења која из њих проистичу

У вези са наведеним, ранг приоритета генерисан према $IBC(\theta_j)$ вредностима у приказаној студији случаја упућује да највећи релативни приоритет за предузеће има увођење *Product Structure Management* решења и развој специфичних компетенција у домену *Cross-domain Product Design Collaboration*. Покретање иницијатива за увођење *Design Release and Change*

Management и *Requirement Management* пословних домена у интегрисано PLM окружење, такође може бити значајно са аспекта разматраних фактора. Исто важи и за укључивање *Product Document Management* и *3D Visualization and Digital Mockup* решења у PLM стратегију предузећа. Са друге стране, имплементација решења која подржавају успостављање *Quality Planning and Management*, *Systems Architecture Management* и *Simulation Process and Data Management* као интегралног дела PLM окружења се оцењују као пројекти нешто нижег приоритета за предузеће. Иако према резултатима анализе показују висок ниво усаглашености у односу на стратешке приоритете и значајан потенцијал оптимизације у процесима развоја нових производа, карактерише их висока изложеност ризику и својства која отежавају перцепцију, предвиђање и контролу понашања пројекта индукујући смањену ефикасност у њиховој реализацији. Према резултатима, активности на интегрисању PLM функционалних аспеката као што су *Service Engineering*, *Environmental Compliance Management*, *Product Cost Management* и *Analytics and Reporting* се не сматрају значајним са аспекта тренутних захтева пословања, уважавајући шире пословне околности и ограничења која из њих проистичу.

Табела 40. Вишекритеријумска матрица одлучивања

Аспекти анализе	MIN MAX	Вишекритеријумска матрица одлучивања $\left(\tilde{d}_{ij}\right)_{n \times m}$								
		FP_1	FP_2	FP_3	FP_4	FP_5	FP_6	FP_7	FP_8	FP_9
Трошкови имплементације (AA_1)	MIN	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
Ризици имплементације (AA_2)	MIN	(0.44,1.2,2.176,3.398;1,1) (0.694,1.275,2.094,2.77;0.8,0.8)	(0.395,1.18,2.178,3.496;1,1) (0.66,1.256,2.094,2.8;0.8,0.8)	(0.36,1.078,1.964,3.229;1,1) (0.609,1.14,1.89,2.609;0.8,0.8)	(0.02,0.387,0.829,1.648;1,1) (0.175,0.415,0.795,1.217;0.8,0.8)	(0.241,0.790,1.455,2.493;1,1) (0.44,0.836,1.4,1.935;0.8,0.8)	(0.06,0.457,0.999,1.917;1,1) (0.198,0.49,0.956,1.448;0.8,0.8)	(1.33,2.646,4.11,5.799;1,1) (1.816,2.762,3.985,4.96;0.8,0.8)	(1.27,2.52,3.97,5.618;1,1) (1.714,2.637,3.847,4.807;0.8,0.8)	(0.27,0.923,1.700,2.849;1,1) (0.5,0.979,1.637,2.278;0.8,0.8)
Сложеност имплементације (AA_3)	MIN	(1.58,3.077,4.406,6.109;1,1) (2.163,3.182,4.29,5.183;0.8,0.8)	(2.010,3.595,5.093,6.826;1,1) (2.618,3.72,4.96,5.928;0.8,0.8)	(1.673,3.198,4.55,6.275;1,1) (2.257,3.307,4.434,5.33;0.8,0.8)	(0.834,2.23,3.325,4.969;1,1) (1.42,2.307,3.238,4.027;0.8,0.8)	(1.155,2.579,3.767,5.400;1,1) (1.73,2.667,3.669,4.498;0.8,0.8)	(1.64,3.174,4.527,6.240;1,1) (2.234,3.28,4.410,5.31;0.8,0.8)	(2.59,4.2,5.836,7.456;1,1) (3.225,4.34,5.685,6.695;0.8,0.8)	(2.014,3.605,5.08,6.82;1,1) (2.623,3.727,4.949,5.903;0.8,0.8)	(2.024,3.637,5.126,6.897;1,1) (2.631,3.761,4.993,5.954;0.8,0.8)
Стратешки доприноси имплементације (AA_4)	MAX	(0.481,0.671,0.721,0.859;1,1) (0.606,0.694,0.7,0.746;0.8,0.8)	(0.316,0.504,0.55,0.69;1,1) (0.429,0.5,0.535,0.578;0.8,0.8)	(0.48,0.657,0.7,0.826;1,1) (0.6,0.68,0.682,0.72;0.8,0.8)	(0.169,0.258,0.288,0.364;1,1) (0.22,0.263,0.283,0.31;0.8,0.8)	(0.3,0.474,0.522,0.654;1,1) (0.4,0.487,0.511,0.553;0.8,0.8)	(0.3,0.49,0.54,0.68;1,1) (0.4,0.507,0.528,0.57;0.8,0.8)	(0.47,0.637,0.685,0.803;1,1) (0.58,0.654,0.669,0.7;0.8,0.8)	(0.6,0.76,0.8,0.904;1,1) (0.72,0.784,0.78,0.817;0.8,0.8)	(0.377,0.53,0.57,0.683;1,1) (0.475,0.545,0.559,0.594;0.8,0.8)
Утицај на орг. способности развоја нових производа (AA_5)	MAX	(2.525,4.336,4.843,6.353;1,1) (3.4,4.336,4.845,5.37;0.8,0.8)	(1.15,2.75,3.259,4.889;1,1) (1.91,2.752,3.26,3.797;0.8,0.8)	(2.44,4.205,4.726,6.24;1,1) (3.35,4.205,4.728,5.27;0.8,0.8)	(0.772,1.504,1.726,2.4;1,1) (1.138,1.5,1.727,1.961;0.8,0.8)	(1.625,3.109,3.521,4.809;1,1) (2.34,3.110,3.52,3.951;0.8,0.8)	(2.02,4.02,4.606,6.459;1,1) (2.979,4.02,4.607,5.22;0.8,0.8)	(2.163,3.83,4.32,5.8;1,1) (2.996,3.83,4.32,4.834;0.8,0.8)	(3.12,5.207,5.809,7.566;1,1) (4.19,5.208,5.81,6.437;0.8,0.8)	(2.186,4.04,4.586,6.235;1,1) (3.108,4.04,4.588,5.156;0.8,0.8)
Вишекритеријумска матрица одлучивања $\left(\tilde{d}_{ij}\right)_{n \times m}$										
FP_10	FP_11	FP_12	FP_13	FP_14	FP_15	FP_16	FP_17	FP_18	FP_19	
(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	
(0.318,1.098,1.97,3.3;1,1) (0.617,1.159,1.9,2.631;0.8,0.8)	(0.04,0.319,0.675,1.58;1,1) (0.144,0.341,0.648,1.350;0.8,0.8)	(0.486,1.494,2.556,4.058;1,1) (0.87,1.569,2.47,3.247;0.8,0.8)	(0.14,0.674,1.377,2.478;1,1) (0.33,0.722,1.32,1.868;0.8,0.8)	(0.935,2.05,3.173,4.690;1,1) (1.377,2.134,3.08,3.879;0.8,0.8)	(0.63,1.678,2.844,4.38;1,1) (1.016,1.764,2.748,3.575;0.8,0.8)	(0.795,1.88,3.076,4.623;1,1) (1.198,1.969,2.978,3.818;0.8,0.8)	(0.09,0.463,0.975,1.798;1,1) (0.217,0.5,0.932,1.533;0.8,0.8)	(0.03,0.243,0.52,1.186;1,1) (0.109,0.26,0.498,1.137;0.8,0.8)	(0.066,0.506,1.122,2.197;1,1) (0.226,0.548,1.07,1.7;0.8,0.8)	
(1.368,2.798,4.02,5.7;1,1) (1.938,2.894,3.919,4.835;0.8,0.8)	(1.386,2.830,4.057,5.787;1,1) (1.956,2.926,3.953,4.936;0.8,0.8)	(1.679,3.236,4.6,6.345;1,1) (2.28,3.346,4.48,5.387;0.8,0.8)	(1.167,2.558,3.728,5.425;1,1) (1.724,2.646,3.63,4.549;0.8,0.8)	(2.086,3.590,5.035,6.732;1,1) (2.666,3.71,4.905,5.916;0.8,0.8)	(1.839,3.4,4.834,6.575;1,1) (2.4,3.528,4.709,5.640;0.8,0.8)	(1.581,3.069,4.364,6.093;1,1) (2.15,3.174,4.25,5.197;0.8,0.8)	(0.717,1.923,2.88,4.45;1,1) (1.206,1.989,2.807,3.634;0.8,0.8)	(1.368,2.858,4.11,5.782;1,1) (1.958,2.955,4.004,4.857;0.8,0.8)	(1.175,2.658,3.864,5.544;1,1) (1.765,2.749,3.764,4.599;0.8,0.8)	
(0.247,0.408,0.45,0.578;1,1) (0.345,0.424,0.438,0.476;0.8,0.8)	(0.24,0.398,0.437,0.554;1,1) (0.33,0.41,0.426,0.46;0.8,0.8)	(0.346,0.476,0.518,0.62;1,1) (0.43,0.49,0.505,0.544;0.8,0.8)	(0.155,0.245,0.27,0.352;1,1) (0.206,0.249,0.267,0.296;0.8,0.8)	(0.235,0.383,0.422,0.538;1,1) (0.32,0.394,0.41,0.447;0.8,0.8)	(0.236,0.418,0.465,0.601;1,1) (0.34,0.433,0.45,0.494;0.8,0.8)	(0.396,0.565,0.607,0.717;1,1) (0.507,0.584,0.591,0.624;0.8,0.8)	(0.092,0.207,0.239,0.333;1,1) (0.15,0.211,0.236,0.268;0.8,0.8)	(0.124,0.217,0.247,0.328;1,1) (0.176,0.22,0.242,0.271;0.8,0.8)	(0.12,0.215,0.240,0.311;1,1) (0.175,0.22,0.234,0.257;0.8,0.8)	
(1.71,3.139,3.554,4.828;1,1) (2.41,3.14,3.556,3.988;0.8,0.8)	(1.667,3.157,3.605,5.006;1,1) (2.389,3.158,3.606,4.074;0.8,0.8)	(1.012,2.1,2.42,3.445;1,1) (1.53,2.1,2.42,2.70;0.8,0.8)	(1.128,2.438,2.835,4.105;1,1) (1.75,2.438,2.836,3.257;0.8,0.8)	((1.404,2.761,3.144,4.334;1,1) (2.059,2.76,3.145,3.541;0.8,0.8)	(1.83,3.53,4.026,5.57;1,1) (2.656,3.53,4.028,4.544;0.8,0.8)	(1.948,3.689,4.193,5.810;1,1) (2.78,3.690,4.195,4.723;0.8,0.8)	(0.4,1.164,1.421,2.262;1,1) (0.759,1.164,1.42,1.694;0.8,0.8)	(1.462,2.533,2.882,3.870;1,1) (2.029,2.534,2.88,3.249;0.8,0.8)	(1.024,2.267,2.639,3.83;1,1) (1.614,2.267,2.64,3.03;0.8,0.8)	

Табела 41. Нормализована матрица одлучивања

Аспекти анализе	Нормализована матрица одлучивања $\left(\widetilde{nd}_{ij}\right)_{n \times m}$									
	FP_1	FP_2	FP_3	FP_4	FP_5	FP_6	FP_7	FP_8	FP_9	
AA_1	(0.16,0.11,0.1,0.08;1,1) (0.13,0.11,0.1,0.09;0.8,0.8)	(0.16,0.11,0.10,0.08;1,1) (0.13,0.11,0.10,0.09;0.8,0.8)	(0.16,0.11,0.10,0.08;1,1) (0.13,0.11,0.10,0.09;0.8,0.8)	(0.05,0.06,0.06,0.05;1,1) (0.06,0.06,0.06,0.06;0.8,0.8)	(0.05,0.06,0.06,0.05;1,1) (0.06,0.06,0.06,0.06;0.8,0.8)	(0.16,0.11,0.10,0.08;1,1) (0.13,0.11,0.10,0.09;0.8,0.8)	(0.27,0.15,0.13,0.10;1,1) (0.19,0.15,0.13,0.12;0.8,0.8)	(0.16,0.11,0.10,0.08;1,1) (0.13,0.11,0.10,0.09;0.8,0.8)	(0.27,0.15,0.13,0.10;1,1) (0.19,0.15,0.13,0.12;0.8,0.8)	
AA_2	(0.07,0.04,0.02,0.01;1,1) (0.05,0.03,0.02,0.02;0.8,0.8)	(0.06,0.03,0.02,0.02;1,1) (0.05,0.03,0.02,0.02;0.8,0.8)	(0.06,0.03,0.02,0.01;1,1) (0.04,0.03,0.02,0.02;0.8,0.8)	(0.001,0.01,0.01;1,1) (0.01,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.04,0.02,0.02,0.01;1,1) (0.03,0.02,0.02,0.01;0.8,0.8)	(0.01,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.01,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.21,0.08,0.04,0.03;1,1) (0.13,0.07,0.04,0.03;0.8,0.8)	(0.20,0.07,0.04,0.02;1,1) (0.12,0.07,0.04,0.03;0.8,0.8)	(0.04,0.03,0.02,0.01;1,1) (0.04,0.03,0.02,0.01;0.8,0.8)	
AA_3	(0.03,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.04,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.03,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.03,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.02,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.02,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.03,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.05,0.02,0.02,0.01;1,1) (0.03,0.02,0.02,0.01;0.8,0.8)	(0.04,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.03,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.04,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.03,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	
AA_4	(0.23,0.16,0.14,0.11;1,1) (0.18,0.15,0.15,0.13;0.8,0.8)	(0.15,0.12,0.11,0.09;1,1) (0.13,0.11,0.11,0.10;0.8,0.8)	(0.23,0.15,0.14,0.11;1,1) (0.18,0.15,0.14,0.13;0.8,0.8)	(0.08,0.06,0.06,0.05;1,1) (0.06,0.06,0.06,0.06;0.8,0.8)	(0.15,0.11,0.10,0.09;1,1) (0.12,0.11,0.11,0.10;0.8,0.8)	(0.15,0.11,0.11,0.09;1,1) (0.12,0.11,0.11,0.10;0.8,0.8)	(0.23,0.15,0.13,0.11;1,1) (0.17,0.14,0.14,0.13;0.8,0.8)	(0.29,0.18,0.16,0.12;1,1) (0.21,0.17,0.16,0.15;0.8,0.8)	(0.18,0.12,0.11,0.09;1,1) (0.14,0.12,0.12,0.11;0.8,0.8)	
AA_5	(0.04,0.02,0.02,0.01;1,1) (0.03,0.02,0.02,0.02;0.8,0.8)	(0.02,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.04,0.02,0.02,0.01;1,1) (0.03,0.02,0.02,0.02;0.8,0.8)	(0.01,0.01,0.01,0.00;1,1) (0.01,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.03,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.03,0.02,0.02,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.02,0.02;0.8,0.8)	(0.04,0.02,0.02,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.02,0.01;0.8,0.8)	(0.05,0.03,0.02,0.02;1,1) (0.03,0.03,0.02,0.02;0.8,0.8)	(0.04,0.02,0.02,0.01;1,1) (0.03,0.02,0.02,0.02;0.8,0.8)	
Аспекти анализе	Нормализована матрица одлучивања $\left(\widetilde{nd}_{ij}\right)_{n \times m}$									
	FP_10	FP_11	FP_12	FP_13	FP_14	FP_15	FP_16	FP_17	FP_18	FP_19
AA_1	(0.16,0.11,0.10,0.08;1,1) (0.13,0.11,0.10,0.09;0.8,0.8)	((0.16,0.11,0.10,0.08;1,1) (0.13,0.11,0.10,0.09;0.8,0.8)	(0.16,0.11,0.10,0.08;1,1) (0.13,0.11,0.10,0.09;0.8,0.8)	(0.05,0.06,0.06,0.05;1,1) (0.06,0.06,0.06,0.06;0.8,0.8)	(0.27,0.15,0.13,0.10;1,1) (0.19,0.15,0.13,0.12;0.8,0.8)	(0.27,0.15,0.13,0.10;1,1) (0.19,0.15,0.13,0.12;0.8,0.8)	(0.16,0.11,0.10,0.08;1,1) (0.13,0.11,0.10,0.09;0.8,0.8)	(0.05,0.06,0.06,0.05;1,1) (0.06,0.06,0.06,0.06;0.8,0.8)	(0.05,0.06,0.06,0.05;1,1) (0.06,0.06,0.06,0.06;0.8,0.8)	(0.05,0.06,0.06,0.05;1,1) (0.06,0.06,0.06,0.06;0.8,0.8)
AA_2	(0.05,0.03,0.02,0.01;1,1) (0.04,0.03,0.02,0.02;0.8,0.8)	(0.01,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.01,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.08,0.04,0.03,0.02;1,1) (0.06,0.04,0.03,0.02;0.8,0.8)	(0.02,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.15,0.06,0.03,0.02;1,1) (0.10,0.06,0.03,0.03;0.8,0.8)	(0.10,0.05,0.03,0.02;1,1) (0.07,0.05,0.03,0.02;0.8,0.8)	(0.13,0.05,0.03,0.02;1,1) (0.09,0.05,0.03,0.02;0.8,0.8)	(0.01,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.0,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.01,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.01,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)
AA_3	(0.03,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.03,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.03,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.02,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.04,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.03,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.04,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.03,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.03,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.01,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.01,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.03,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.02,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)
AA_4	(0.12,0.09,0.09,0.08;1,1) (0.10,0.09,0.09,0.09;0.8,0.8)	(0.12,0.09,0.09,0.07;1,1) (0.10,0.09,0.09,0.08;0.8,0.8)	(0.17,0.11,0.10,0.08;1,1) (0.13,0.11,0.10,0.10;0.8,0.8)	(0.08,0.06,0.05,0.05;1,1) (0.06,0.05,0.06,0.05;0.8,0.8)	(0.11,0.09,0.08,0.07;1,1) (0.09,0.09,0.09,0.08;0.8,0.8)	(0.11,0.10,0.09,0.08;1,1) (0.10,0.09,0.09,0.09;0.8,0.8)	(0.19,0.13,0.12,0.10;1,1) (0.15,0.13,0.12,0.11;0.8,0.8)	(0.04,0.05,0.05,0.04;1,1) (0.05,0.05,0.05,0.05;0.8,0.8)	(0.06,0.05,0.05,0.04;1,1) (0.05,0.05,0.05,0.05;0.8,0.8)	(0.06,0.05,0.05,0.04;1,1) (0.05,0.05,0.05,0.05;0.8,0.8)
AA_5	(0.03,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.03,0.02,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.02,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.01,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.02,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.01,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.02,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.03,0.02,0.02,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.02,0.01;0.8,0.8)	(0.03,0.02,0.02,0.01;1,1) (0.02,0.02,0.02,0.01;0.8,0.8)	(0.01,0.01,0.01,0.00;1,1) (0.01,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.02,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.02,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)	(0.02,0.01,0.01,0.01;1,1) (0.01,0.01,0.01,0.01;0.8,0.8)

Табела 42. Одстојање алтернатива од MORP вектора

Аспекти анализе	$\tilde{u}_i^*$	$d(\tilde{u}_i^*, \widetilde{\tilde{d}}_{ij})$																		
		FP_1	FP_2	FP_3	FP_4	FP_5	FP_6	FP_7	FP_8	FP_9	FP_10	FP_11	FP_12	FP_13	FP_14	FP_15	FP_16	FP_17	FP_18	FP_19
AA_1	(0.0535,0.0632,0.0613,0.0546;1,1) (0.0641,0.0632,0.0613,0.0592;0.8,0.8)	0.05351	0.05351	0.05351	0	0	0.05351	0.10701	0.05351	0.10701	0.05351	0.05351	0.05351	0	0.10701	0.10701	0.05351	0	0	0
AA_2	(0.0048,0.0071,0.0054,0.0052;1,1) (0.0079,0.0069,0.0056,0.0074;0.8,0.8)	0.03238	0.03011	0.02717	0	0.01752	0.00510	0.09452	0.08985	0.02077	0.02574	0.00189	0.03894	0.01167	0.06763	0.10701	0.05853	0.00607	0	0.00647
AA_3	(0.0141,0.0105,0.0077,0.0063;1,1) (0.0130,0.0101,0.0079,0.0070;0.8,0.8)	0.00806	0.01194	0.00889	0.00158	0.00429	0.00866	0.01698	0.01197	0.01210	0.00610	0.00628	0.00903	0.00430	0.01240	0.01043	0.00802	0	0.00623	0.00459
AA_4	(0.2907,0.1759,0.1579,0.1208;1,1) (0.2120,0.1707,0.1619,0.1477;0.8,0.8)	0.02741	0.07152	0.02942	0.12552	0.07724	0.07519	0.03321	0	0.06041	0.09338	0.09596	0.07172	0.12927	0.09878	0.09333	0.05306	0.14188	0.13683	0.13782
AA_5	(0.0514,0.0252,0.0218,0.0152;1,1) (0.0344,0.0251,0.0218,0.0190;0.8,0.8)	0.00514	0.01564	0.00582	0.02096	0.01262	0.00830	0.00814	0	0.00744	0.01215	0.01225	0.01818	0.01667	0.01458	0.01047	0.00953	0.02349	0.01491	0.01762

Табела 43. Резултати субординираног и коначног рангирања алтернатива према MULTIMOORA процесу

PLM функционална подручја (θ_j)		Субординирано рангирање						$IBC(\theta_j)$ вредност	Коначни ранг $r(IBC)$
		$n(\theta_{jRS})$	$r(\theta_{jRS})$	$n(\theta_{jRPA})$	$r(\theta_{jRPA})$	$n(\theta_{jFMF})$	$r(\theta_{jFMF})$		
FP_1	Product Structure Management	0.0947	2	0.0174	2	0.0658	7	0.0133	1
FP_2	Product Configuration Management	0.0569	9	0.0454	7	0.0301	15	0.0024	11
FP_3	Design Release and Change Management	0.0925	3	0.0187	3	0.0659	6	0.0128	3
FP_4	Classification Management	0.0314	13	0.0796	15	0.0969	4	0.0030	10
FP_5	Product Document Management	0.0706	4	0.0490	10	0.0963	5	0.0110	5
FP_6	Requirement Management	0.0628	7	0.0477	9	0.1045	1	0.0125	4
FP_7	Systems Architecture Management	0.0656	6	0.0243	4	0.0168	18	0.0045	8
FP_8	Cross-domain Product Design Collaboration	0.1079	1	0.0122	1	0.0411	10	0.0129	2
FP_9	Simulation Process and Data Management	0.0585	8	0.0383	6	0.0397	11	0.0044	9
FP_10	Digital Manufacturing/Bill of Processes	0.0441	12	0.0592	12	0.0359	12	-0.0004	14
FP_11	3D Visualization and Digital Mockup	0.0456	11	0.0609	13	0.0990	2	0.0074	6
FP_12	Manufacturing Process Planning	0.0529	10	0.0455	8	0.0193	16	0.0013	13
FP_13	Service Engineering	0.0301	14	0.0820	16	0.0455	9	-0.0033	16
FP_14	Environmental Compliance Management	0.0187	18	0.0627	14	0.0112	19	-0.0044	17
FP_15	Supply Chain Collaboration and Source Management	0.0291	15	0.0592	11	0.0185	17	-0.0024	15
FP_16	Quality Planning and Management	0.0694	5	0.0337	5	0.0337	14	0.0057	7
FP_17	Analytics and Reporting	0.0185	19	0.0900	19	0.0348	13	-0.0076	19
FP_18	Program and Project Management	0.0271	16	0.0868	17	0.0989	3	0.0017	12
FP_19	Product Cost Management	0.0238	17	0.0874	18	0.0460	8	-0.0050	18

9 ПРЕДЛОГ МОДЕЛА ОДЛУЧИВАЊА ЗА ИЗБОР PLM СОФТВЕРСКОГ РЕШЕЊА

Стратегија развоја PLM система се у пракси најчешће заснива на увођењу комерцијалних решења (енг. *Commercial off-the-shelf software - COTS*) која се на тржишту промовишу под називом *PLM решења* или *PLM платформе*, оваква решења служе као оквир који се може конфигурисати или прилагодити како би се задовољиле специфичне потребе предузећа. Треба нагласити да не постоји самостално решење или индивидуални систем за обраду информација који подржава доследну имплементацију PLM-а. PLM се заправо посматра као концепт омогућен интеграцијом више ИТ алата и пословних система из PLM окружења у јединствено технолошко решење које подржава успостављање интегрисаног окружења за развој, производњу и одржавање производа. У том контексту, PLM софтверско решење се може посматрати као интеграционо језгро чији је задатак да повеже информациона острва и фрагменте аутоматизације које стварају различити ИТ алати и системи у PLM окружењу, стварајући на тај начин интегрисане тоталитете.

Усвајање оваквих решења у пракси прате многи изазови, као што су недовољна функционална зрелост комерцијално доступних PLM решења у појединим областима, што приморава предузећа да усвајају делимична решења других провајдера, суочавајући се са ограниченим могућностима интеграције, будући да већина провајдера из света PLM технологија није успела да развије универзалне могућности интеграције изван сопственог портфолија, што доводи до стварања паралелних и фрагментираних решења.

Такође, PLM решења и даље нису довољно конфигурабилна да би одговорила на специфичност пракси у различитим индустријским контекстима, што захтева прилагођавања кроз посебне облике имплементације, функционалне надоградње и модификације прилагођеним кодирањем, индукујући већу почетну цену решења, али и недовољну флексибилност у односу на промене у пословним потребама и процесима, овоме треба додати да било какав облик прилагођавања ограничава могућност коришћења будућих верзија решења и са собом повлачи ризике од системских грешака. Штавише, студије засноване на емпиријским подацима [129] указују да најзначајнији део трошкова у имплементацији PLM решења, чак 70% њих, настаје као последица прилагођавања и функционалних проширења у односу на стандардна решења.

Интеграцију ових решења са наслеђеним системима у PLM окружењу често прате проблеми слабе интероперабилности, некомпатибилних модела података, проблеми везани за интегритет информација итд., што захтева додатне напоре у интеграцији и прилагођавању интерфејса са решењима на различитим нивоима ИТ архитектуре предузећа. Такође, висок ниво сложености ствара отпор корисника условљавајући спорију стопу прихватања нових технологија и индукује мању ефикасност решења утичући на операбилност укупног PLM окружења. Овоме треба додати и дугорочне партнерске односе и зависност у односу на провајдере решења.

Наведени али и бројни други изазови указују на важност питања избора одговарајућег PLM софтверског решења, узимајући у обзир контекст специфичан за организацију. У прилог оваквим тврдњама Zancul [468] наглашава да је усвајање PLM-а условљено применом софтверског решења прилагођеног пословним потребама и контексту предузећа, док Vengudopalan и др. [425] истичу да усвајање неодговарајућих PLM алата може проузроковати потпуну дисфункцију PLM процеса. Aloini и др. [9] наводе да компатибилност усвојених PLM решења у односу на организационе процесе битно одрађује способност PLM-а да генерише очекивану пословну вредност. Поткрепљујући ове тврдње Savino и др. [364] истичу да је кључ успеха у имплементацији PLM-а избор PLM алата компатибилних са организационом културом и процесима, те да је за максимизацију

користи од примене оваквих решења кључна њихова процена у односу на организационе способности и захтеве. *Omerali* и *Kaya* [308] кључне изазове у имплементацији PLM-а такође везују за избор и примену функционално субоптималних PLM решења.

Иако је објављен велики број студија које се баве проблемом имплементације PLM-а, питање избора PLM софтверског решења још увек није методолошки подржано на одговарајући начин, што се пре свега односи на недостатак модела одлучивања способног да одговори на сложену и неструктурирану природу овог проблема. Штавише, постоји свега неколико студија које се баве овим питањем. Рецимо, *Vieira* и др. [431] у својој студији предлажу приступ за одабир конфигурације PLM система, који пружа каталог PLM функционалности, дефинисан на основу PLM референтног модела, сличан приступ предложили су и *Schuh* и др. [365], развијајући каталог функција неопходних за успостављање PLM-а, са намером да олакшају поређење комерцијалних PLM решења. *Enríquez* и др. [133] предлажу приступ поређењу и процени квалитета PLM софтверских решења заснован на карактеризацији PLM система применом QuEF (енг. *Quality Evaluation Framework*) оквира, са циљем да помогну предузећима да следећи свој специфични контекст изаберу најкорисније PLM решење. *Eastham* и др. [124] предлажу структурирану методологију одлучивања у избору PLM софтверских решења која предвиђа петофазни процес подржан знањем из области дефинисаних у оквиру PMBOK водича. *Myung* [296] предлаже процедуру за избор PLM провајдера на основу доказа концепта (POC) који укључује доказ функција и доказ имплементације, при чему се најприкладнији кандидат бира на основу резултата POC бодовања. Оквир који су увели *Omerali* и *Kaya* [308] се базира на примени методе COPRAS и фази бројева сферичне интервалне вредности у циљу оцене алтернативних софтверских решења, фокусирајући се на најважније функционалне карактеристике PLM система. Доступни су и различити приручници који пружају смернице на који начин извршити компаративну анализу комерцијално доступних PLM софтверских решења не узимајући у обзир потребе предузећа.

У пракси се при избору PLM решења доносиоци одлука ослањају искључиво на технолошке и финансијске аспекте, не узимајући у обзир њихову усаглашеност са организационим циљевима и стратегијом, постојећим пословним процесима итд. Имајући у виду организациони, технолошки и бихевиорални утицај PLM-а, потребна је шира перспектива евалуације, при чему технолошки и организациони контексти ових решења треба да се разматрају на јединствен начин. *Corallo* и др. [93] сугеришу да евалуација PLM софтверских решења не би требало да буде вођена искључиво функционалним могућностима које пружају, већ у којој мери је решење способно да одговори на специфичне потребе организације, док *Vengugopalan* и др. [425] сматрају да овом проблему треба приступити са освртом на постојеће политике и праксе, захтеве и ставове корисника.

Јасно је да се сложеност овог питања остварује по неколико основа, укључујући:

- проблем избора PLM решења захтева вишедимензионални приступ који истовремено разматра технолошки и организациони контекст;
- разлике у контексту, циљевима и специфичним потребама предузећа онемогућавају генерализовање система критеријума евалуације.

Имајући у виду наведено, али и постојећи јаз у истраживањима, развијен је интегрални модел одлучивања за избор PLM софтверског решења, који се у контексту предложеног приступа дефинише као проблем вишекритеријумског одлучивања. Модел представљен у оквиру ове дисертације је публикован кроз рад *Пузовић* и др. [334].

У складу са претходно наведеним, предложени модел:

- дефинише свеобухватни систем критеријума према којима је могуће извршити свеобухватну евалуацију и поређење перформанси алтернативних решења;

- предвиђа механизам за прилагођавање базе критеријума одлучивања у зависности од контекста специфичног за организацију;
- утврђује методологију одлучивања засновану на интегралном моделу вишекритеријумске анализе који комбинује ANP и PROMETHEE методе;
- користи концепт фази скупова за математичко описивање нејасних вредности у циљу редуковања несигурности повезаних са људским когнитивним процесом.

Циљ модела је да обезбеди структуриран процес избора софтверског решења које ће на оптималан начин подржати PLM стратегију у околностима специфичним за предузеће. Парадигма вишекритеријумског одлучивања као и теоријска тумачења концепата који ће бити коришћени у решавању проблема одлучивања су представљени у поглављу 5.

9.1 Систем критеријума евалуације PLM софтверских решења

За потребе успостављања модела одлучивања успостављен је свеобухватни систем критеријума евалуације који систематизује факторе са тенденцијом утицаја на одлуку о избору PLM решења. Приступ истраживању на развоју система критеријума је укључио преглед постојећих модела одлучивања за избор софтверских решења за подршку пословању у различитим доменима, који дефинишу кључне атрибуте за описивање карактеристика ових решења. Претрага релевантне академске литературе је извршена уз помоћ база података *Scopus*, *Google Scholar*, *ScienceDirect* и *KoBSON*, студије обухваћене прегледом су реализоване у периоду између 2002. и 2022. године. Као резултат, идентификована су укупно 103 атрибута, након терминолошке унификације и провере релевантности идентификованих атрибута за описивање карактеристика PLM софтверских решења, консолидована је листа (табела 44) која укључује укупно 31 атрибут систематизован у четири категорије: финансијски услови, карактеристике софтвера, пословни аспект и фактори провајдера. Резултати прегледа литературе су ослоњени на анализу приказану у раду Пузовић и др. [334] Успостављени систем критеријума обухвата најважније аспекте оцене PLM софтверских решења и пружа референтни модел на основу ког је могуће формирати прилагођену базу критеријума одлучивања сагласно контексту специфичном за предузеће.

Табела 44. Систем критеријума евалуације PLM софтверских решења

Критеријуми евалуације		Студије у оквиру којих су верификовани
Финансијски услови		
Трошкови решења		[4, 18, 34, 61, 97, 136, 170, 229, 243, 311, 373, 411, 417]
Уговорни услови		[283]
Софтвер		
Функционалне могућности решења		[465, 229, 311, 61, 373, 170, 417, 4, 97, 243, 108]
Компатибилност решења са оперативним околностима		[229, 243, 411]
Технологије	Технолошка основа решења	[283, 61, 296]
	Усаглашеност са технолошком инфраструктуром предузећа	[216, 283]
	Инкорпорација најновијих могућности информационих технологија	[136, 197]
Поузданост	Способност опоравка	[283, 373, 18, 243]
	Стабилност	[246, 373, 18, 243]
	Безбедност	[246, 465, 4, 97, 34]
Флексибилност	Могућност проширења и надоградње	[246, 373, 136, 18, 243]

Критеријуми евалуације	Студије у оквиру којих су верификовани
Могућност интерног развоја	[283, 18, 243]
Скалабилност	[283, 243, 97]
Прилагодљивост	[246, 465, 296, 61, 243, 4, 97, 108, 411]
Портабилност	[283, 170, 417, 97]
Могућности интеграције	[328, 373, 296, 18, 243, 411]
Могућност интеграције са другим пословним системима предузећа	[373, 243]
Компатибилност са екстерним системима у пословној мрежи	[197]
Лакоћа употребе решења	[465, 373, 170, 136, 18, 243, 417, 4, 34, 108]
Ефикасност решења	[465, 311, 61, 170]
Кориснички интерфејс	[296, 97, 243]
Погодност одржавања	[170, 243, 417, 97, 108]
Брзина имплементације и обуке	[283, 465, 61, 170, 243, 108, 417, 411]
Доступност редовних надоградњи	[197]
Интегритет информација	[296, 243, 417, 108]
Пословни аспект	
Подршка за постојеће пословне процесе	[237, 197, 243]
Доступност најбоље пословне праксе у систему	[237, 197]
Усаглашеност са пословном стратегијом	[197, 283]
Подршка будућој стратегији	[34]
Усаглашеност са технолошком стратегијом	[283]
Фактор провајдера	[283, 197, 229, 373, 61, 170, 136, 18, 243, 97, 417, 34]

9.2 Интегрални модел вишекритеријумског одлучивања за избор PLM софтверског решења

Избор PLM софтверског решења се у контексту предложеног приступа дефинише као дискретни проблем вишекритеријумског одлучивања, за чије потребе се успоставља интегрални модел, који комбинује фази *Delphi* методу за формирање прилагођене базе критеријума одлучивања, фази АНР методу за одређивање релативног приоритета критеријума и PROMETHEE методу за дефинисање поретка алтернатива, сагласно њиховој укупној повољности у односу на вишеструке циљеве одлучивања. Модел представљен у оквиру ове дисертације је проширење модела публикованог у раду *Пузовић* и др. [334].

Имајући у виду да у недовољно дефинисаним или сложеним проблемима одлучивања, преференције обично није могуће проценити и исказати на апсолутно прецизан начин, што је најчешће последица недостатка знања о проблему одлучивања, чему треба додати и проблеме који се везују за несигурности и недоследности људског расуђивања, у циљу превазилажења ових проблема конвенционалне *Delphi* и АНР методе су у предложеном моделу проширене са теоријом фази скупова.

За разлику од приступа који су установљени и приказани у претходном делу дисертације, у којима се предлажу модели који комбинују методе вишекритеријумског одлучивања са теоријом фази скупова типа-2, предложени модел одлучивања за избор PLM софтверског решења моделирање недоследности и непрецизности у исказивању преференција заснива фази скуповима типа-1. Наиме, процењује се да је применом фази скупова типа-1 могуће на адекватан начин описати врсту неизвесности својствену проблемима избора PLM софтверских решења. Истовремено, на овај начин се постиже математичка једноставност предложеног модела.

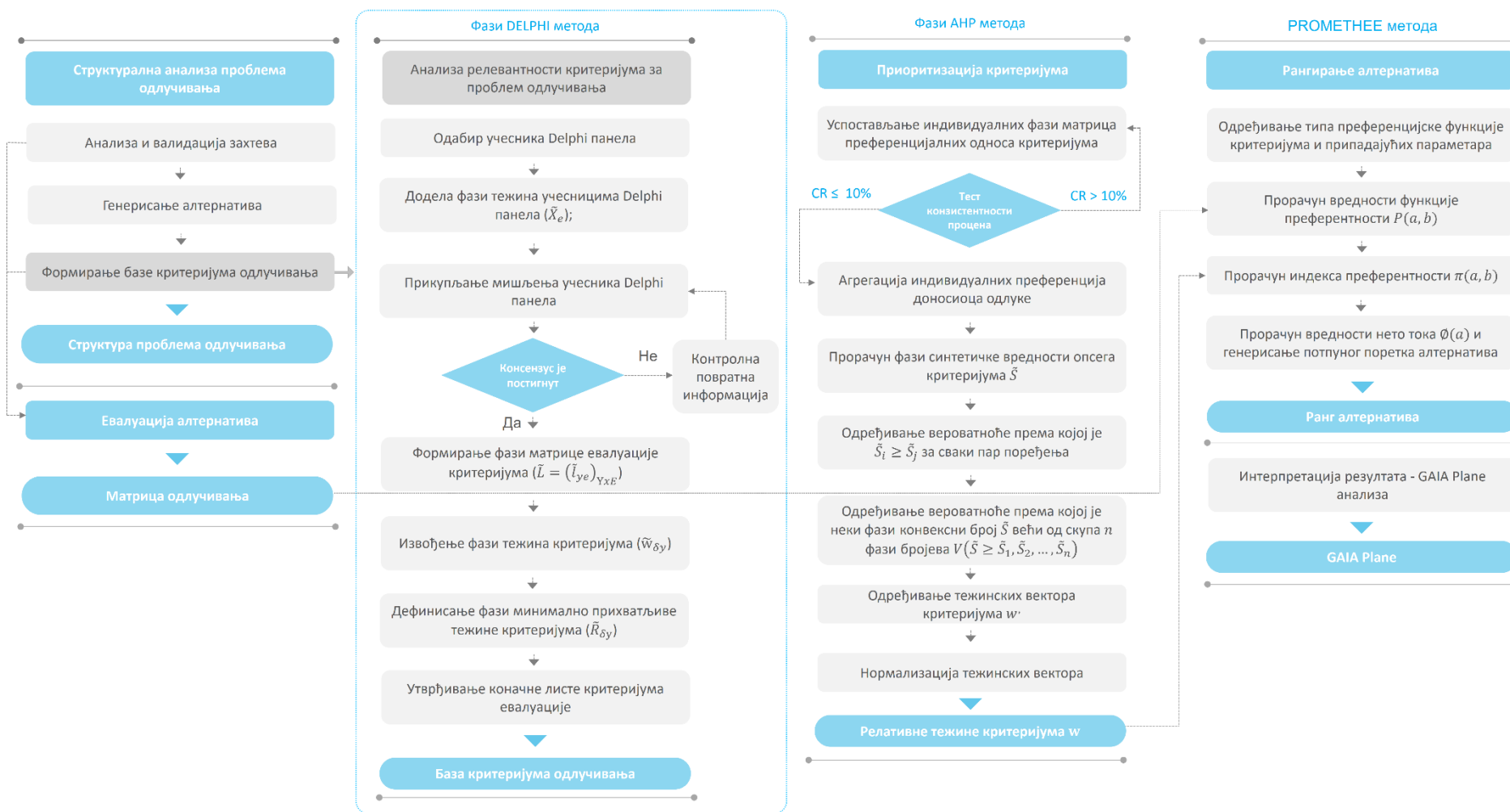
С тим у вези, фази скупови типа-1 су коришћени за представљање лингвистичких термина употребљених за прикупљање мишљења учесника *Delphi* панела, чиме се превазилази проблем недоследности и субјективног просуђивања. Такође, у циљу редуковања неизвесности при процени и моделовању преференција у процесу приоритизације критеријума, предвиђа се примена математичких алата заснованих на фази скуповима типа-1. За извођење тежинских фактора критеријума из овако дефинисаних преференцијалних односа, приступ предвиђа примену модела фази АНР методе који је развио *Chang* [73], а који се заснива на анализи опсега, као резултат ове анализе формира се фази синтетичка вредност опсега што је основа за извођење тежинских коефицијената критеријума.

PROMETHEE метода се у предложеном моделу користи у свом конвенционалном облику, будући да је постојала могућност егзактног исказивање преференција разматраних алтернатива према коришћеним критеријумима одлучивања.

Сагласно препорученим процедурама решавања проблема вишекритеријумске анализе, теоријски и емпиријски потврђеним концептима, предложени модел предвиђа четворофазни процес одлучивања (слика 55). Прва фаза обухвата дефинисање проблема одлучивања кроз његово експлицитно формулисање и структуралну анализу његових елемената, укључујући циљеве одлучивања, потенцијалне алтернативе и критеријуме одлучивања. Овај процес укључује анализу и валидацију захтева, генерисање алтернатива и извођење фази *Delphi* процеса за формирање прилагођене базе критеријума одлучивања сагласно контексту специфичном за организацију. Оцена перформанси разматраних алтернатива је предмет друге фазе предложеног процеса. Трећа фаза подразумева приоритизацију критеријума одлучивања у циљу извођења њихових тежинских коефицијената на основу субјективних преференција доносилаца одлуке исказаних путем преференцијалних односа, сагласно фази АНР процедуре.

Четврта фаза укључује рангирање алтернатива сагласно њиховој укупној повољности у односу на циљеве одлучивања, интерпретацију и анализу резултата и доношење коначне одлуке. Као методологија рангирања предвиђа се примена *outranking* методе PROMETHEE, која пружа методологију за агрегацију преференција алтернатива исказаних према различитим критеријумима одлучивања, дозвољавајући употребу различитих типова преференцијских функција којима је могуће на адекватан начин исказати природу преференција у већини реалних проблема одлучивања. Интегришући, уједно релативне тежине критеријума у структуру укупних преференција алтернатива. На овај начин се на бази консолидовања међусобно конфликтних циљева одлучивања, генерише поредак алтернатива према њиховој укупној повољности.

Опис концепта и коришћени математички модели фази АНР и фази *Delphi* метода детаљно су представљени у потпоглављима 5.1, 9.2.1 и 9.2.2., док су концепт PROMETHEE методе и процедура рангирања алтернатива коју предвиђа детаљно представљени у потпоглављу 9.2.3.



Слика 55. Интегрални модел вишекритеријумског одлучивања за избор PLM софтверског решења

9.2.1 Фазу *Delphi* модел

Delphi техника представља ефикасан алат за превазилажење ограничења конвенционалних техника за консолидовање мишљења у оквиру групних дискусија. „То је методичка, интерактивна и предиктивна процедура, замишљена као формални комуникациони процес за аквизицију знања од групе стручњака који поседују компетенције у релевантним областима,⁸⁰ са циљем детаљних испитивања и расправа по одређеном питању у сврху идентификовања, категорисања и одређивања приоритета проблема или развоја оквира за предвиђања будућих догађаја. *Delphi* процес омогућава постизање конвергенције мишљења групе стручњака са знањем у одређеним областима, користећи се серијом упитника за прикупљање података кроз више итерација са контролисаним процесом повратних информација чији је циљ да подстакну развој консензуса групног мишљења на одређену тему. Додатне погодности *Delphi* технике се односе на својство анонимности и примену техника статистичке анализе за тумачење података чиме се смањује групни притисак на усаглашеност мишљења и други недостаци повезани са групном динамиком.

Delphi процес се заснива на субјективном расуђивању учесника *Delphi* панела, било каква недоследност у исказивању или интерпретацији њихових ставова утиче на резултате *Delphi* процеса, осим тога, конвенционални приступ квантификовању лингвистичких варијабли којима се исказују мишљења *Delphi* панелиста уз помоћ егзактних вредности не одражава у потпуности начин размишљања људи, будући да су људске преференције по својој природи нејасне, неодређене и субјективне. Са друге стране, према *Habibi* и др. [164] примена теорије фазе скупова за представљање лингвистичких термина коришћених за прикупљање мишљења учесника *Delphi* панела боље одражава начин размишљања и смањује недоследност људског резонувања. *Ma* и др. [261] овоме додају и предности у погледу броја итерација неопходних за постизање конвергенције консензуса између *Delphi* учесника и времена неопходног за прикупљање мишљења.

Филтрирање критеријума за оцену и избор PLM софтверских решења се у предложеном приступу заснива на фази *Delphi* моделу представљеном у раду *Пузовић* и др. [332], који укључује следеће кораке:

- Одабир *Delphi* панелиста;
- Додела фазе тежина учесницима *Delphi* панела ($\tilde{X}_e$);
- Прикупљање мишљења учесника панела и конвергенција консензуса;
- Формирање фазе матрице евалуације критеријума ($\tilde{L} = (\tilde{l}_{ye})_{y \times E}$);
- Извођење фазе тежина критеријума ($\tilde{w}_{\delta y}$);
- Дефинисање фазе минимално прихватљиве тежине критеријума ($\tilde{R}_{\delta y}$);
- Утврђивање коначне базе критеријума одлучивања.

Први корак у *Delphi* процесу подразумева успостављање панела од E стручњака ($E_e, e = 1, 2, \dots, E$) са знањем у релевантним областима везаним за проблем истраживања. Полазећи од претпоставке да *Delphi* панелисти могу имати различито искуство и знање о проблему који се разматра, ниво разумевања организационог контекста итд., предложени *Delphi* модел предвиђа додељивање различитог релативног значаја учесницима панела, при чему фактор тежине учесника одражава њихову компетентност за процену релевантности предложених критеријума оцено PLM софтверских решења, узимајући у обзир контекст организације. Као критеријуми оцено компетентности *Delphi* учесника користе се радно искуство, квалификованост и подручје деловања. Скала за оцену *Delphi* учесника према наведеним критеријумима, лингвистички термини и припадајући TFN бројеви су дати у

⁸⁰ *Habibi* и др. (2015)

табели 45, док се фактор тежине ($\tilde{X}_e$) формира агрегацијом вредности поменутих варијабли извођењем њихове аритметичке средине.

Табела 45. Фази скала оцене компетентности учесника *Delphi* панела

Искуство	Квалификације	Подручје деловања	Лингвистички термини	TFN
≤ 5	Средње стручно образовање	Консалтинг у области имплементације PLM-а	Низак	(0,0,2,0,4)
5-10	Основне струковне студије	Експертиза у области PLM технологија	Средњи	(0,2,0,4,0,6)
10-15	Основне академске студије	Менаџмент организације	Висок	(0,4,0,6,0,8)
≥ 15	Мастер академске студије	Учешће у PLM процесима организације	Веома висок	(0,6,0,8,1)

Своја мишљења о релативној важности укључивања разматраних критеријума ($\tilde{l}_{ye}$) у процес одлучивања *Delphi* панелисти изражавају користећи се лингвистичким карактеризацијама и њима припадајућим фази бројевима сагласно скали датој у табели 46.

Табела 46. Лингвистичке варијабле и одговарајући TFN бројеви у фази *Delphi* процесу

Лингвистичке варијабле	TFN
Веома ниско	(0,0,0,1)
Ниско	(0,0,1,0,3)
Средње ниско	(0,1,0,3,0,5)
Средње	(0,3,0,5,0,7)
Средње високо	(0,5,0,7,0,9)
Високо	(0,7,0,9,1)
Веома високо	(0,9,1,1)

Како би се развио консензус мишљења учесника *Delphi* панела, процес прикупљања података се одвија у више итерација, са контролисаним повратним информацијама између итерација, које учесницима панела пружају увид у распон мишљења установљених кроз претходне итерације, што их подстиче да ревидирају своје почетне ставове развијајући неопходни консензус. Као контролну повратну информацију, предложени модел утврђује разлику између просечних и појединачних вредности оцена учесника *Delphi* панела за сваки од објеката евалуације (60).

$$\tilde{l}_{AVE} - \tilde{l}_y(l_y, m_y, u_y) = \left(\frac{\sum^l}{n} - l_y, \frac{\sum^m}{n} - m_y, \frac{\sum^u}{n} - u_y \right) \quad (60)$$

Поступак се понавља све док се не постигну два приближна узастопна просека, чиме је сматра се постигнут одговарајући степен консензуса. На основу консолидованих мишљења учесника *Delphi* панела формира се фази матрица оцене критеријума.

$$\tilde{L} = (\tilde{l}_{ye})_{y \times E} = \begin{matrix} & \begin{matrix} E_1 & E_2 & \cdots & E_E \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_Y \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{l}_{11} & \tilde{l}_{12} & \cdots & \tilde{l}_{1E} \\ \tilde{l}_{21} & \tilde{l}_{22} & \cdots & \tilde{l}_{2E} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \tilde{l}_{Y1} & \tilde{l}_{Y2} & \cdots & \tilde{l}_{YE} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (61)$$

Следи агрегација мишљења учесника *Delphi* панела на основу које се генеришу релативне тежине критеријума ($\tilde{w}_{\delta y}$). Приступ агрегацији у предложеном *Delphi* процесу узима у обзир релативни значај додељен учесницима *Delphi* панела и изводи се према (62).

$$\tilde{w}_{\delta y} = \frac{\sum_{e=1}^E \tilde{x}_e \otimes \tilde{l}_{ye}}{E} \quad (62)$$

Као параметар у односу на који се процењује релевантност разматраних критеријума уводи се минимално прихватљива тежина ($\tilde{R}_{\delta y}$), чија вредност се изводи према (63).

$$\tilde{R}_{\delta y} = \frac{\sum_{e=1}^E \tilde{x}_e \otimes R_{ye}}{E} \quad (63)$$

При чему (R_{ye}) представља минимално прихватљиву тежину додељену у-том критеријуму од стране e -тог учесника *Delphi* процеса, изражену као процентуална вредност. Поступак даље захтева дефазификацију добијених параметара $\tilde{w}_{\delta y}$ и $\tilde{R}_{\delta y}$, при чему се као концепт дефазификације предлаже *Center of Gravity (COG)* метода (64).

$$w_{\delta y} = \frac{[(u_{ij}-l_{ij})+(m_{ij}-l_{ij})]}{3+l_{ij}} \quad (64)$$

Критеријуми чије су тежине ($w_{\delta y}$) изнад минимално прихватљиве ($R_{\delta y}$) се сматрају релевантним за процес одлучивања сагласно датом контексту.

9.2.2 Фази АНР модел

Концепт АНР методе, ограничења њеног конвенционалног модела и карактеристични приступи у њиховом превазилажењу детаљније су представљени у потпоглављу 5.1. Фази АНР модел, који се користи у оквиру предложеног интегралног модела одлучивања, заснива генерисање приоритета из фази преференцијалних односа на примени технике анализе опсега коју је у оквиру АНР процеса први увео *Chang* [73]. Приступ се базира на анализи опсега (енг. *extend analysis*) уз помоћ које се из фази матрице упоредног поређења обезбеђују синтетичке вредности опсега за сваки разматрани атрибут, на основу којих је, уз поштовање принципа поређења фази бројева, могуће одредити тежински вектор разматраних атрибута. Приказани модел је верификован у раду *Пузовић* и др. [334].

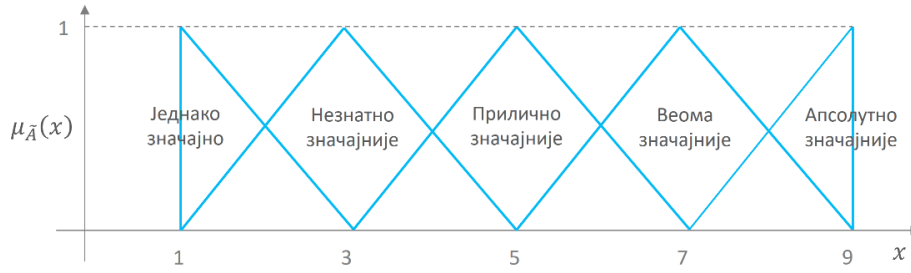
Посматрајмо проблем приоритизације који укључује n атрибута. Фазификована матрица упоредног поређења ових атрибута $\tilde{A} = \{\tilde{a}_{ij}\}_{n \times n}$ имаће следећи облик:

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \dots & \tilde{a}_{1n} \\ 1/\tilde{a}_{12} & 1 & \dots & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{a}_{1n} & 1/\tilde{a}_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (65)$$

где $\tilde{a}_{ij}$ представља преферентност атрибута i у односу на атрибут j , ($i, j = 1, 2, \dots, n$), при чему важи $\tilde{a}_{ji} = 1/\tilde{a}_{ij}$. Посматрана преферентност је дата у облику TFN броја $\tilde{a}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ као нормализованог и конвексног фази скупа који карактерише затворен интервал поверења $[l_{ij}, u_{ij}]$. Лингвистичка скала и одговарајући фази бројеви који се користе за описивање преференцијалних релација приликом формирања матрице упоредног поређења дати су у табели 47, графичка интерпретација функције припадности за коришћену TFN лингвистичку скалу дата је на слици 56.

Табела 47. Лингвистичке варијабле и одговарајући TFN бројеви у фази АНР процесу

Лингвистичке варијабле	TFN
Једнако значајно	(1, 1, 1)
Незнатно значајније	(2, 3, 4)
Прилично значајније	(4, 5, 6)
Веома значајније	(6, 7, 8)
Апсолутно значајније	(9, 9, 9)
Међувредности	$(x - 1, x, x + 1)$
Реципрочне вредности	$(1/u, 1/m, 1/l)$



Слика 56. Функција припадности за TFN лингвистичку скалу

Уколико процес приоритизације атрибута укључује више учесника, тада је агрегацију њихових индивидуалних преференција $\tilde{a}_{ij}^k = (l_{ij}^k, m_{ij}^k, u_{ij}^k)$, ($k = 1, 2, \dots, K$, K је укупан број учесника који су вршили процене) могуће извршити применом фази геометријске средине према (66). На овај начин се формира агрегатна фази матрица преференцијалних односа која одражава консолидована мишљења свих учесника процеса.

$$\tilde{a}_{ij} = (\prod_{k=1}^K \tilde{a}_{ij}^k)^{\frac{1}{K}} = \left((\prod_{k=1}^K l_{ij}^k)^{\frac{1}{K}}, (\prod_{k=1}^K m_{ij}^k)^{\frac{1}{K}}, (\prod_{k=1}^K u_{ij}^k)^{\frac{1}{K}} \right) \quad (66)$$

Chang [73] процес приоритизације заснива на анализи опсега, при чему се она врши за сваки атрибут, као резултат ове анализе формира се синтетичка вредност опсега $\tilde{S}_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, која такође има фази облик, ове вредности се изводе из агрегатне матрице упоредног поређења на следећи начин:

$$S_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij}]^{-1} \quad (67)$$

$$\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = (\sum_{j=1}^n l_j, \sum_{j=1}^n m_j, \sum_{j=1}^n u_j), i = 1, 2, \dots, n \quad (68)$$

слично томе:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n l_j, \sum_{j=1}^n m_j, \sum_{j=1}^n u_j) = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad (69)$$

из чега је могуће извести инверзну вредност исказа као у наставку:

$$(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij})^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (70)$$

На основу претходних израза (67-70) могуће је извести фази синтетичку вредност опсега према следећем изразу.

$$\tilde{S}_i = \left(\frac{\sum_{j=1}^n l_j}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{\sum_{j=1}^n m_j}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{\sum_{j=1}^n u_j}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) = (l_i, m_i, u_i) \quad (71)$$

Даља процедура приоритизације атрибута подразумева одређивање вероватноће са којом је $\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j$, при чему је за потпуно поређење $\tilde{S}_i$ и $\tilde{S}_j$ потребно одредити и $\tilde{S}_j \geq \tilde{S}_i$ ($i, j = 1, 2, \dots, n$). Ова вероватноћа за упоређивани пар атрибута $\tilde{S}_1(l_1, m_1, u_1)$ и $\tilde{S}_2(l_2, m_2, u_2)$ може се представити као:

$$V(\tilde{S}_1 \geq \tilde{S}_2) = \sup[\min(\mu_{\tilde{S}_1}(x), (\mu_{\tilde{S}_2}(y)))] \quad (72)$$

Претпоставимо да је пар (x, y) такав да задовољава услов $x \geq y$ и $\mu_{\tilde{S}_1}(x) = \mu_{\tilde{S}_2}(y) = 1$, тада је вероватноћа $V(\tilde{S}_1 \geq \tilde{S}_2) = 1$, с обзиром да су $\tilde{S}_1$ и $\tilde{S}_2$ фази конвексни бројеви, ово је могуће једино уколико је $m_1 \geq m_2$. Такође:

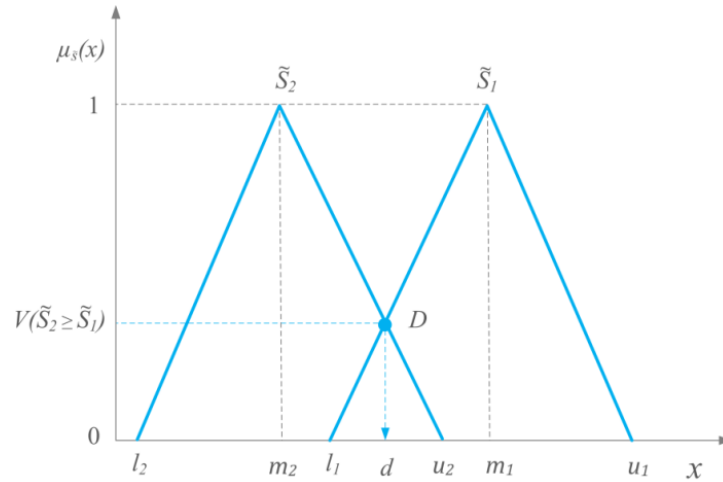
$$V(\tilde{S}_2 \geq \tilde{S}_1) = \text{hgt}(\tilde{S}_1 \cap \tilde{S}_2) = \mu_{\tilde{S}_1}(d) \quad (73)$$

где d одговара ординати највише тачке пресека између $\mu_{\tilde{S}_1}$ и $\mu_{\tilde{S}_2}$, што је графички интерпретирано на слици 57. Имајући у виду наведено, вероватноћу према којој је $\tilde{S}_2$ супериорно у односу на $\tilde{S}_1$, можемо интерпретирати као у (74).

$$V(\tilde{S}_2 \geq \tilde{S}_1) = hgt(\tilde{S}_1 \cap \tilde{S}_2) = \mu_{\tilde{S}_1}(d) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{остало} \end{cases} \quad (74)$$

Са друге стране, вероватноћу према којој је неки фази конвексни број већи од скупа n фази бројева $\tilde{S}_i, i = 1, 2, \dots, n$, (n представља укупан број атрибута обухваћених процесом приоритизације) могуће је дефинисати на следећи начин:

$$V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_n) = V[(\tilde{S} \geq \tilde{S}_1), (\tilde{S} \geq \tilde{S}_2), \dots, (\tilde{S} \geq \tilde{S}_n)] = \min V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_i), i = 1, 2, \dots, n \quad (75)$$



Слика 57. Пресек између $\mu_{\tilde{S}_1}$ и $\mu_{\tilde{S}_2}$ [73]

Сада можемо увести $d(f_i)$, (f је ознака за разматране атрибуте, у овом случају критеријуме) за које ћемо претпоставити следеће:

$$d(f_i) = \min V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) \quad (76)$$

при чему j узима вредности $1, 2, \dots, n; j \neq i$. На основу овога, можемо успоставити вектор тежине атрибута као:

$$w'_i = (d(f_1), d(f_2) \dots d(f_n))^T \quad (77)$$

Нормализацијом тежинских вектора добијамо коефицијент релативне важности атрибута обухваћених процесом приоритизације (78).

$$w_i = (w(f_1), w(f_2) \dots w(f_n))^T \quad (78)$$

9.2.3 Концепт PROMETHEE методе

Метода *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE) [48] спада у групу најчешће коришћених *outranking* метода вишекритеријумског одлучивања. Омогућава агрегацију оцена алтернатива установљених на основу више, често конфликтних критеријума различитог релативног значаја, на основу чега је могуће одредити поредак алтернатива према укупној повољности у односу на циљ одлучивања.

PROMETHEE метода је погодна за решавање сложених проблема одлучивања који захтевају много људских перцепција, нарочито када постоје значајне разлике у њима. Такође, у ситуацијама када није могуће квантификовати и упоредити поједине елементи одлучивања или је потребно укључити квалитативне и квантитативне критеријуме одлучивања, поред тога, не заснива се на претпоставци да су критеријуми пропорционални. Ово објашњава велики број примена PROMETHEE методе у различитим контекстима, неки од примера су представљени у студијама [313, 341, 427]. Кључна критика PROMETHEE методе је на рачун тога што, иако захтева додељивање пондера појединим елементима одлучивања, не пружа јасне смернице за њихово одређивање, овоме се додаје и проблем структурирања сложених проблема одлучивања.

До сада је развијено више приступа у решавању вишекритеријумских проблема уз помоћ PROMETHEE методе: PROMETHEE I за парцијални поредак алтернатива; PROMETHEE II или метода нето тока за потпуни поредак алтернатива [48]; PROMETHEE GAIA као визуелни, интерактивни приступ у анализи добијених резултата вишекритеријумске анализе [268]; PROMETHEE III за рангирање засновано на интервалима; PROMETHEE IV за вишекритеријумску анализу непрекидног скупа алтернатива; PROMETHEE V за оптимизацију са ограничењима сегментације [49]; PROMETHEE VI која подржава начин људског резоновања [50]; Фази PROMETHEE заснована на фази преференцијалним односима за превазилажење проблема неодређености података [160] и модификовани PROMETHEE заснован на универзалној преференцијској функцији [342].

Поступак рангирања алтернатива применом PROMETHEE методе се састоји из две фазе: прва се односи на конструисање *outranking* релација уз помоћ индекса преференције, док друга укључује решавање дефинисаног проблема одлучивања засновано на експлоатацији добијених релација. Математички модел ове методе је приказан у наставку.

Дефинишимо проблем вишекритеријумског одлучивања као у (79).

$$\text{Max}(f_1(a), f_2(a), \dots, f_n(a)) | a \in A \quad (79)$$

A представља коначан скуп алтернатива које се рангирају, према дефинисаном скупу критеријума одлучивања ($f_i = f_1, f_2, \dots, f_n$). За сваку алтернативу $a_j (j = 1, 2, \dots, m)$ из скупа A , $f_i(a_j)$ представља припадајућу вредност или оцену по критеријуму f_i . На основу ових параметара формира се матрица одлучивања (табела 48).

Табела 48. Матрица одлучивања за PROMETHEE методу

a_j	f_i			
a_1	$f_1(a_1)$	$f_2(a_1)$	...	$f_n(a_1)$
a_2	$f_1(a_2)$	$f_2(a_2)$	...	$f_n(a_2)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
a_m	$f_1(a_m)$	$f_2(a_m)$	...	$f_n(a_m)$

PROMETHEE метода се базира на поређењу алтернатива у паровима (a, b) , разматрајући одступање између оцена упоређиваних алтернатива $(f(a) - f(b))$, по сваком од разматраних критеријума. У случају малог одступања, додељује се мала преферентност боље оцењеној алтернативи, при чему се у случају занемарљивог одступања преферентност не додељује, растом одступања расте и преферентност. Резултати поређења алтернатива a и b ($\forall a, b \in A$) могу бити исказани у облику функције преферентности (80).

$$P_i(a, b) = p[f_i(a) - f_i(b)] = p(x) \quad \forall a, b \in A \quad (80)$$

Функција преферентности $P(a, b)$ је неоппадајућа функција која има особине $0 \leq P(a, b) \leq 1$, $P(a, b) \neq P(b, a)$, изражава интензитет преферентности алтернативе a у односу на алтернативу b према одређеном критеријуму и може бити интерпретирана као:

$P(a, b) = 0$, указује на индиферентност између упоређиваних алтернатива $f(a) = f(b)$;
 $P(a, b) \sim 0$, указује на слабу преферентност алтернативе a у односу на $b - f(a) > f(b)$;
 $P(a, b) \sim 1$, указује на јаку преферентност алтернативе a у односу на $b - f(a) \gg f(b)$;
 $P(a, b) = 1$, указује на строгу преферентност алтернативе a у односу на $b - f(a) \gg \gg f(b)$.

У случају критеријума код којих се изражава захтев за максимизацијом, функција преферентности $P(a, b)$ додељује преферентност алтернативи a над алтернативом b уколико важи $f(a) - f(b) > 0$, такође поприма вредност 0 за $f(a) - f(b) \leq 0$. Уз то важи:

$$P(a, b) > 0 \Rightarrow P(b, a) = 0 \quad (81)$$

Уколико се ради о критеријумима код којих се изражава захтев за минимизацијом, функција преферентности има облик:

$$P_i(a, b) = p[-(f_i(a) - f_i(b))] \quad (82)$$

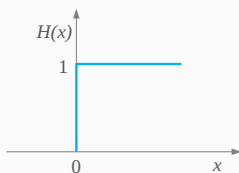
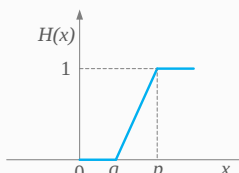
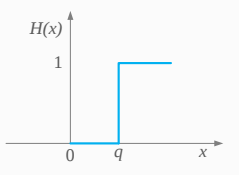
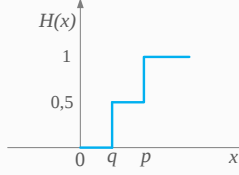
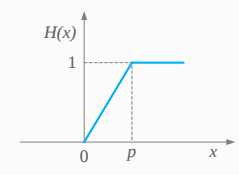
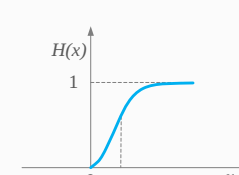
Предност PROMETHEE методе у односу на остале методе вишекритеријумског одлучивања се заснива на томе што пружа могућност да се сваком критеријуму одлучивања додели посебан тип преференцијске функције сходно његовој природи, као и припадајући параметри који одражавају границе преференције. У ту сврху, Brans и Vincke [48] предлажу шест типова преференцијских функција којима је могуће исказати преференције у већини реалних проблема. Графичке интерпретације ових функција приказане су у табели 49.

$$x = f(a) - f(b) \quad (83)$$

Функцију $P(x)$ графички представљамо, тако да:

$$P(x) = \begin{cases} P(a, b), & x \geq 0, \\ P(b, a), & x \leq 0. \end{cases} \quad (84)$$

Табела 49. PROMETHEE преференцијске функције [48]

I Универзални критеријум		IV Степенasti критеријум	
	$p(x) = \begin{cases} 0, & \forall x \leq 0 \\ 1, & \forall x > 0 \end{cases}$		$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ \frac{(x-q)}{(p-q)}, & q < x \leq p \\ 1, & x > p \end{cases}$
II Квази критеријум		V Линеарни критеријум са подручјем индиферентности	
	$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ 1, & x > q \end{cases}$		$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq q \\ \frac{1}{2}, & q < x \leq p \\ 1, & x > p \end{cases}$
III Критеријум са линеарном преференцијом		VI Гаусов критеријум	
	$p(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ \frac{x}{p}, & 0 \leq x \leq p \\ 1, & x > p \end{cases}$		$p(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, & x > 0 \end{cases}$

За првих пет типова преференцијских функција додељује се један или оба припадајућа параметра, наиме: q , праг индиференције, указује на границу одступања које се сматра

занемарљивим; p , праг стриктне преференције или минимално одступање које се може сматрати довољним за генерисање пуне преферентности. Док се за шесту, Гаусову функцију, додељује параметар δ који указује на преломну тачку функције преференције.

Следећи корак у PROMETHEE процедури се односи на агрегацију добијених вредности функција преферентности за сваки разматрани критеријум $P_i(a, b)$, кроз прорачун индекса преференције $\pi(a, b)$ за сваки пар упоређиваних алтернатива према (85). Индекс преференције одражава глобалну преферентност алтернативе a у односу на алтернативу b , уважавајући све критеријуме одлучивања.

$$\pi(a, b) = \sum_{i=1}^n P_i(a, b) \cdot w_i \quad (85)$$

где је w_i релативна тежина i -тог критеријума ($i = 1, 2, \dots, n$), $w_i \in [0, 1]$, $\sum w_i = 1$. За индекс преференције важи $0 \leq \pi(a, b) \leq 1$, такође важи:

$\pi(a, b) \sim 0$, указује на слабу преферентност алтернативе a у односу на b ;

$\pi(a, b) \sim 1$, указује на јаку преферентност алтернативе a у односу на b ;

Друга фаза PROMETHEE поступка подразумева експлоатацију добијених релација у циљу решавања проблема, што укључује одређивање вредности излазног тока $\phi^+(a)$ (86) који показује у којој мери алтернатива a надмашује остале алтернативе и улазног $\phi^-(a)$ тока (87), који указује у којој мери је алтернатива a надмашена од стране осталих алтернатива.

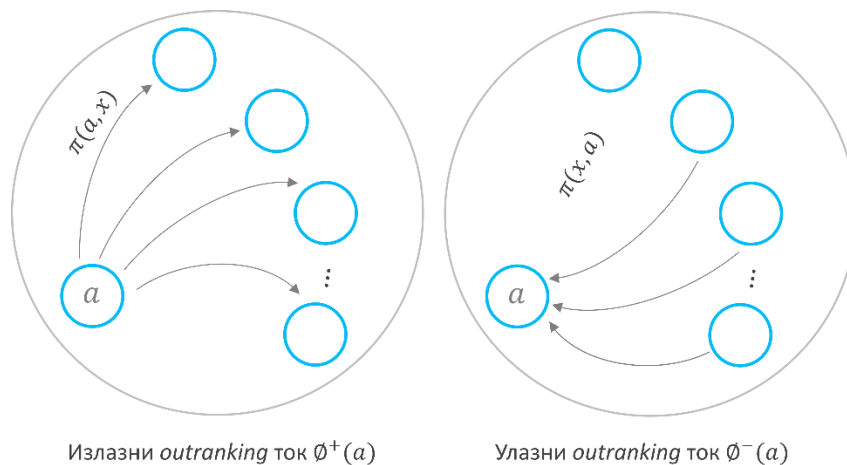
$$\phi^+(a) = \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (86)$$

$$\phi^-(a) = \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (87)$$

На бази ових параметара врши се парцијално поређење алтернатива што је својствено PROMETHEE I методи. При чему важи:

$$\begin{cases} aP^I b & \text{акко} & \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ и } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ или} \\ \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ и } \phi^-(a) < \phi^-(b), \text{ или} \\ \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ и } \phi^-(a) = \phi^-(b) \end{cases} \\ aI^I b & \text{акко} & \phi^+(a) = \phi^+(b) \text{ и } \phi^-(a) = \phi^-(b) \\ aR^I b & \text{акко} & \begin{cases} \phi^+(a) > \phi^+(b) \text{ и } \phi^-(a) > \phi^-(b), \text{ или} \\ \phi^+(a) < \phi^+(b) \text{ и } \phi^-(a) < \phi^-(b) \end{cases} \end{cases} \quad (88)$$

$aP^I b$ означава преферентност алтернативе a у односу на алтернативу b , $aI^I b$ индиферентност, док $aR^I b$ неупоредивост.



Слика 58. PROMETHEE outranking токови за парцијално рангирање алтернатива [48]

Потпуни поредак алтернатива захтева балансирање између улазног и излазног тока, односно разматрање вредности нето тока $\emptyset(a)$, што је својствено PROMETHEE II методи.

$$\emptyset(a) = \emptyset^+(a) - \emptyset^-(a) \quad (89)$$

При чему важи:

$$\begin{cases} aP^{II}b & \text{акко } \emptyset(a) > \emptyset(b) \\ aI^{II}b & \text{акко } \emptyset(a) = \emptyset(b) \end{cases} \quad (90)$$

На овај начин се избегава могућност неупоредивости између алтернатива, при чему:

$$\begin{cases} -1 \leq \emptyset(a) \leq 1 \\ \sum_{x \in A} \emptyset(a) = 0 \end{cases} \quad (91)$$

9.3 Валидација модела одлучивања за избор PLM софтверског решења

Како би се извршила валидација модела одлучивања спроведен је студија случаја у оквиру које је примењен предложени процес вишекритеријумске анализе за проблем избора PLM софтверског решења за потребе предузећа прерађивачке индустрије. Студија представљена у наставку је приказана у раду *Пузовић* и др. [334]. За потребе процеса евалуације оформљен је тим од пет аналитичара, представника предузећа са знањем релевантним за проблем одлучивања, укључујући и познавање контекстуалних околности и циљева PLM иницијативе. Тим је крос-функционалног карактера како би се лакше интегрисале интердисциплинарне експертизе и укључује представнике формалних функционалних група истраживања и развоја, техничке припреме и производње, додатно у процене су укључена два аналитичара са експертизом у области PLM технологија. Процес приказан у наставку је изведен према претходно установљеном моделу вишекритеријумског одлучивања (слика 55).

Фаза 1: Структурална анализа проблема одлучивања

Почетна фаза процеса одлучивања укључује експлицитно формулисање проблема одлучивања и структуралну анализу његових елемената, полази од дефинисаних циљева одлучивања и укључује генерисање потенцијалних алтернатива и формулисање базе критеријума одлучивања. Као резултат формирана је хијерархијска структура проблема одлучивања представљена на слици 59.

Генерисање алтернатива

За потребе валидације предложеног модела одлучивања идентификовано је дванаест алтернативних комерцијално доступних PLM софтверских решења: *Arena PLM*, *PTC PLM*, *Agile PLM*, *4G:PLM*, *Aras Innovator*, *BeCPG*, *IFS PLM*, *Omnify Product*, *Suite Propel PLM*, *Autodesk Fusion Lifecycle*, *SAP PLM* и *SoftExpert PLM Suite*.

Формирање базе критеријума одлучивања

Као референтни модел за формирање базе критеријума за дати проблем одлучивања коришћен је систем критеријума евалуације PLM софтверских решења, који је установљен у оквиру истраживања (представљен у потпоглављу 9.1). Како би се постигао консензус о релевантности датих критеријума, узимајући у обзир контекст специфичан за предузеће коришћена је фаза *Delphi* студија, која се изводи према моделу чији је концепт и коришћени математички модел детаљно представљен у потпоглављу 9.2.1. Следи приказ спроведеног *Deorphi* процеса.

Одабир *Delphi* панелиста: За потребе *Delphi* студије, формиран је панел који је укључио чланове претходно установљеног тима аналитичара.

Додела фази тежина учесницима Delphi панела: Лингвистичке варијабле и њима припадајуће фази вредности које описују компетентност *Delphi* учесника изведене су према скали датој у табели 45, док је матрица оцена представљена у табели 50. Аритметичка средина вредности посматраних варијабли ($\tilde{X}_e$) се у наставку *Delphi* процеса користи као фактор релативне тежине оцена додељених од стране учесника *Delphi* панела ($\tilde{X}^g$).

Табела 50. Оцена компетентности учесника *Delphi* панела

Delphi панелиста	Искуство	Квалификација	Подручје деловања	Фази релативне тежине Delphi панелиста ($\tilde{X}_e$)
E_1	(0.2,0.4,0.6)	(0.4,0.6,0.8)	(0.6,0.8,1)	(0.016,0.064,0.16)
E_2	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.6,0.8,1)	(0.032,0.096,0.213)
E_3	(0.2,0.4,0.6)	(0.4,0.6,0.8)	(0.4,0.6,0.8)	(0.011,0.048,0.128)
E_4	(0.2,0.4,0.6)	(0.2,0.4,0.6)	(0.6,0.8,1)	(0.008,0.043,0.12)
E_5	(0.2,0.4,0.6)	(0.4,0.6,0.8)	(0.2,0.4,0.6)	(0.005,0.032,0.096)

Прикупљање мишљења учесника панела и конвергенција консензуса: Након представљања циљева *Delphi* студије, од панелиста је затражено да процене релевантност критеријума представљених у оквиру референтног система критеријума евалуације PLM софтверских решења (табела 44), узимајући у обзир контекст специфичан за предузеће. Своја мишљења *Delphi* панелисти исказују користећи се фази скалом датом у табели 46. Процес прикупљања мишљења учесника *Delphi* панела је укључио две итерације пре постизања неопходног консензуса, провера консензуса је извршена према процедури појашњеној у потпоглављу 9.2.1.

Формирање фази матрице оцене критеријума: На основу прикупљених оцена учесника *Delphi* панела формирана је матрица ($\tilde{L} = (\tilde{l}_{ye})_{y \times E}$). Следи агрегација додељених оцена ($\tilde{l}_{ye}$) према (62), на основу које су генерисане релативне тежине критеријума ($\tilde{w}_{\delta y}$) (табела 51), узимајући у обзир и релативни значај додељен учесницима панела ($\tilde{X}_e$).

Дефинисање фази минимално прихватљиве тежине критеријума: Као параметар за филтрирање критеријума дефинисане су минимално прихватљиве тежине ($R_{\delta y}$) које се одређују према (63), а на основу процентуалних вредности ($R_{\delta y}^e$) које су као праг филтрирања за сваки појединачни критеријум дефинисали учесници панела.

Утврђивање коначне базе критеријума одлучивања: Филтрирање критеријума се врши поређењем дефазификованих вредности (64) $w_{\delta y}$ у односу на вредности $R_{\delta y}$, наиме критеријуми који задовољавају услов $w_{\delta y} > R_{\delta y}$ се сматрају релевантним за дати процес одлучивања.

Сагласно резултатима спроведене *Delphi* студије (табела 51) формирана је база критеријума одлучивања која укључује седам критеријума са релативном тежином већом од минимално прихватљиве: *функционалне могућности, технолошка основа решења, ефикасност решења, трошкови решења, фактори провајдера, компатибилност решења са оперативним околностима предузећа и лакоћа употребе решења.*

За формирану базу критеријума одлучивања развијен је систем индикатора за поређење перформанси алтернатива. Критеријуми и систем индикатора су представљени у наставку.

Функционалне могућности решења (f_1): критеријум разматра у којој мери је алтернативно софтверско решење способно да подржи специфициране функционалне захтеве ППС-а. Као референтни модел за поређење алтернатива према овом критеријуму

предложени методолошки оквир користи PLM функционални модел представљен у потпоглављу 7.10. Модел пружа структуриран преглед PLM функционалних подручја на основу ког је могуће дефинисати жељену конфигурацију PLM софтверског решења сагласно специфичним потребама и контексту ППС-а, која може служити као стандард у односу на који се врши процена, при чему је неопходно размотрити:

- усаглашеност са тренутним и будућим захтевима предузећа;
- функционалну зрелост решења у релевантним подручјима;
- конфигурабилност решења.

Технолошка основа решења (f_2): критеријум разматра развијеност технологија којима је одређена способност решења за извршавање базичних PLM функција. Према узору на модел који дефинише глобална консалтинг организација у области имплементације PLM-а CIMdata [86], технолошком основом PLM решења сматрају се: архитектура, технологије комуникације и обавештавања, стандарди интероперабилности, технологије визуализације, технологије колаборације, технологије за интеграцију пословних апликација, технологије претраживања и технологије администрације.

Ефикасност решења (f_3): ефикасност решења се односи на опште својство софтвера, индикатори за оцену овог својства су изведени из његове дефиниције прилагођене контексту PLM софтверских решења. Критеријум разматра да ли се задаци који се задају софтверу могу реализовати уз минималан напор корисника у смислу размишљања, чекања, додатних наредби и активности и уз минималне грешке и застоје у раду, као и којом брзином софтвер одговара на корисничке наредбе и извршава предвиђене функције. Ефикасност софтвера је одређена и количином рачунских података неопходних за реализацију одређеног задатака, квалитетом управљања удаљеним ресурсима, меморијом и сложеним алгоритмима.

Трошкови решења (f_4): критеријум разматра очекиване трошкове имплементације и одржавања PLM софтверског решења одабране конфигурације, укључујући:

- **Једнократне трошкове набавке и имплементације софтверског решења:** накнаде за конфигурисане корисничке лиценце, лиценце за сервере, базе података и додатне софтвере, посебне администраторске лиценце; накнаде за услуге инсталације, прилагођавања и тестирања решења; трошкови набавке или закупа сервера или *cloud* услуга; трошкови консалтинг услуга за конфигурацију решења; трошкови организоване обуке за кориснике.
- **Текуће трошкове подршке и одржавања:** годишње накнаде за одржавање система, обнављање лиценци и администрацију софтвера, трошкови планираних надоградњи и оперативне подршке.

Фактор провајдера решења (f_5): критеријум разматра различите аспекте компетентности провајдера софтверског решења, њихове технолошке капацитете и квалитет услуга којима су корисници подржани током планирања, имплементације, оперативне употребе и надоградње имплементираних технологија. Индикатори процене се дефинишу сагласно природи и домену сарадње која се успоставља између корисника и провајдера, а могу се односити на:

- способност имплементације и одржавања решења самостално или у сарадњи са партнерима;
- комплетност понуде (решења која подржавају повезане пословне могућности);
- модел лиценцирања који примењују и његова флексибилност;
- приступ персонализацији, конфигурацији и прилагођавању решења који користе;
- стратегије интеграције и миграције података које користе;
- локалну оперативну способност;

- познавање пословне области предузећа;
- разумевање организационог контекста предузећа;
- познавање добре индустријске праксе;
- развијеност сарадње са другим провајдерима PLM технологија, ERP и MES система у домену интеграције решења;
- доступне образовне ресурсе и програме обуке, могућност њиховог прилагођавања захтевима организације;
- временски оквири претходних имплементација сличног обима и сложености;
- референтна предузећа у индустрији са којима сарађују;
- подршку у раду и надоградњи решења;
- репутацију на тржишту (финансијска стабилност, тржишни удео);
- консалтинг услуге;
- свеобухватност корисничких услуга.

Компатибилност решења са оперативним околностима предузећа (f_6): критеријум разматра у којој мери је решење способно да подржи захтеве управљања информацијама о производу у оперативним околностима специфичним за предузеће, при чему се разматра:

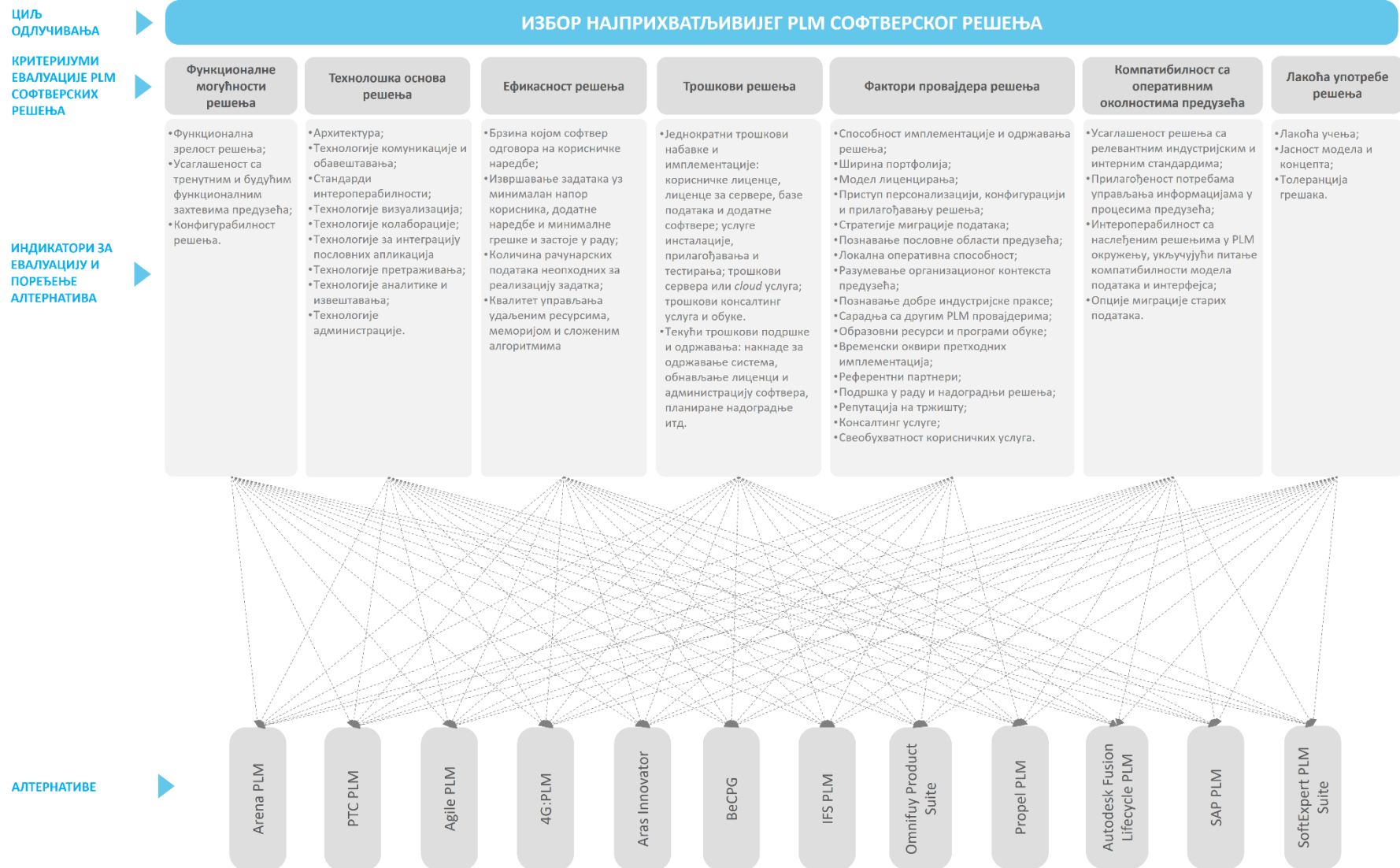
- усаглашеност решења са релевантним интерним и индустријским стандардима;
- прилагођеност потребама управљања информацијама у процесима предузећа;
- интероперабилност са наслеђеним системима у PLM окружењу, укључујући питање компатибилности модела података и интерфејса итд.;
- опције миграције старих података.

Лакоћа употребе решења (f_7): критеријум разматра у којој мери је могуће успоставити једноставну комуникацију између софтвера и корисника, без обзира на његово претходно знање и искуство у раду са софтвером. Својства која одређују лакоћу употребе софтвера су:

- лакоћа учења – да ли корисник лако и за рационално време може савладати коришћење софтвера;
- јасност модела и концепта – да ли је софтвер дизајниран на начин који омогућава корисницима да креирају исправан ментални модел функционисања софтвера;
- толеранција грешака – да ли је софтвер дизајниран тако да спречава настајање грешака које корисник може проузроковати у интеракцији са софтвером и да ли корисницима пружа помоћ за лако и брзо исправљање насталих грешака.

Табела 51. Резултати *Delphi* студије – формирање базе критеријума одлучивања

Критеријуми	Фази тежине критеријума ($\tilde{w}_{\delta y}$)	Фази минимално прихватљиве тежине критеријума ($\tilde{R}_{\delta y}$)	Тежине критеријума ($w_{\delta y}$)	Минимално прихватљиве тежине критеријума ($R_{\delta y}$)	Одабрани критеријуми
Трошкови решења	(0.0093,0.0473,0.1385)	(0.011,0.047,0.12)	0.142	0.121	✓
Уговорни услови	(0.0048,0.0261,0.091)	(0.023,0.1,0.261)	0.094	0.264	
Функционалне могућности решења	(0.0101,0.0509,0.1435)	(0.009,0.04,0.102)	0.147	0.103	✓
Компатибилност решења са оперативним околностима предузећа	(0.0094,0.0477,0.1390)	(0.008,0.036,0.091)	0.142	0.092	✓
Технолошка основа решења	(0.0075,0.0413,0.1315)	(0.009,0.038,0.098)	0.135	0.099	✓
Усаглашеност са технолошком инфраструктуром предузећа	(0.0043,0.0283,0.1004)	(0.01,0.043,0.108)	0.104	0.109	
Инкорпорација најновијих могућности у области информационих технологија	(0.0014,0.0142,0.0654)	(0.009,0.038,0.097)	0.068	0.098	
Способност опоравка	(0.001,0.0108,0.0558)	(0.007,0.03,0.077)	0.058	0.078	
Стабилност	(0.0021,0.018,0.0757)	(0.008,0.032,0.08)	0.079	0.080	
Безбедност	(0.0037,0.0244,0.0902)	(0.008,0.037,0.095)	0.093	0.096	
Могућност проширења и надоградње	(0.0042,0.0249,0.0895)	(0.009,0.038,0.095)	0.092	0.095	
Могућност интерног развоја	(0.0011,0.0129,0.0629)	(0.01,0.044,0.11)	0.066	0.111	
Скалабилност	(0.0034,0.0219,0.0825)	(0.009,0.037,0.093)	0.085	0.094	
Прилагодљивост	(0.0024,0.0206,0.0834)	(0.01,0.044,0.11)	0.087	0.111	
Портабилност	(0.0014,0.0155,0.0706)	(0.008,0.036,0.091)	0.074	0.092	
Могућност системске интеграције	(0.0056,0.0321,0.1090)	(0.01,0.044,0.113)	0.112	0.114	
Могућност интеграције са другим пословним системима предузећа	(0.0062,0.0347,0.1154)	(0.011,0.047,0.119)	0.119	0.120	
Компатибилност са екстерним системима у пословној мрежи	(0.0043,0.0283,0.1004)	(0.009,0.041,0.106)	0.104	0.107	
Лакоћа употребе решења	(0.0085,0.0453,0.1368)	(0.009,0.039,0.101)	0.141	0.101	✓
Ефикасност решења	(0.0085,0.0453,0.1368)	(0.009,0.038,0.095)	0.141	0.095	✓
Кориснички интерфејс	(0.0056,0.0321,0.1090)	(0.011,0.046,0.115)	0.112	0.116	
Погодност одржавања	(0.0014,0.0155,0.0706)	(0.017,0.076,0.198)	0.074	0.200	
Брзина имплементације и обуке	(0.0062,0.0347,0.1154)	(0.012,0.048,0.12)	0.119	0.121	
Доступност редовних надоградњи	(0.0011,0.0129,0.0629)	(0.008,0.036,0.091)	0.066	0.092	
Интегритет информација	(0.0053,0.0295,0.1013)	(0.01,0.042,0.107)	0.104	0.107	
Подршка за постојеће пословне процесе	(0.0067,0.0366,0.1205)	(0.016,0.074,0.198)	0.124	0.202	
Доступност најбоље пословне праксе у систему	(0.0041,0.0279,0.1)	(0.011,0.045,0.114)	0.104	0.115	
Усаглашеност са пословном стратегијом	(0.0046,0.027,0.0962)	(0.01,0.04,0.101)	0.099	0.101	
Подршка будућој стратегији	(0.0011,0.0129,0.0629)	(0.007,0.031,0.079)	0.066	0.079	
Усаглашеност са технолошком стратегијом	(0.0043,0.0283,0.1004)	(0.011,0.045,0.114)	0.104	0.115	
Фактор провајдера решења	(0.0081,0.0434,0.1342)	(0.007,0.029,0.073)	0.138	0.074	✓



Слика 59. Хијерархијска структура одлучивања за проблем избора PLM софтверског решења [334]

Фаза 2: Оцена алтернатива

На основу спецификације корисничких захтева, допуњених описом карактеристика предузећа, потенцијални провајдери формирају понуде стандардизоване структуре и садржаја, којима демонстрирају своју компетентност да одговоре на корисничке захтеве, укључујући и описе како ће корисник бити подржан током процеса имплементације и касније током оперативне употребе имплементираних технологија, цене и услове сарадње. На основу дефинисаног система индикатора за оцену перформанси алтернативних решења, формиране су пондерисане вредности или оцене према сваком од разматраних критеријума одлучивања. Оцене су формиране консензусом учесника у процесу одлучивања, на основу њихових субјективних преференција у односу на доступне алтернативе, при чему своје преференције граде на основу прегледа формалних понуда које достављају провајдери, разговора са њиховим представницима и тестирања демо верзија понуђених софтверских решења. Као резултат овог процеса генерисана је матрица одлучивања (табела 52).

Табела 52. Матрица одлучивања за проблем избора PLM софтверских решења

Критеријуми		Алтернативе											
		Arena PLM	PTC PLM	Agile PLM	4G:PLM	Aras Innovator	BeCPG	IFS PLM	Omniy Product Suite	Propel PLM	Autodesk Fusion 360	SAP PLM	SoftExpert PLM Suite
		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}
f_1	Функционалне могућности решења	0.579	0.526	0.632	0.316	0.526	0.579	0.421	0.632	0.474	0.368	0.684	0.526
f_2	Технолошка основа решења	3.3	3.025	4.4	4.2	3.95	3.2	3.975	3.925	4.275	3.925	4.75	4.2
f_3	Ефикасност решења	7.02	6.2	8.62	7.6	4.98	5.12	5.24	8.24	7.82	8.21	8.96	7.12
f_4	Трошкови решења	2.97	6	10	1.67	2.23	1.5	5.67	6.67	4	5	10	2.8
f_5	Фактор провајдера решења	8.23	7.27	10	6.72	6.19	8.77	9.62	7.84	8.96	6.95	9.33	7.56
f_6	Компатибилност решења са оперативним околностима	2.258	1.935	2.258	0.968	4.839	1.29	3.226	1.290	1.935	4.194	4.516	3.871
f_7	Лакоћа употребе решења	8.18	7.3	7.77	8.3	6.7	8.1	6.45	8.68	7.77	7.89	7.17	9.2

Фаза 3: Приоритизација критеријума одлучивања применом фази АНР методе

Приоритизација критеријума одлучивања извршена је применом математичког модела АНР методе развијеног у фази окружењу, за извођење тежинских фактора критеријума из преференцијалних односа користи се модел који је развио *Chang* [73], заснован на анализи опсега, чији је математички модел представљен у потпоглављу 9.2.2.

Успостављање индивидуалних фази матрица преференцијалних односа критеријума: Поређењем критеријума по паровима и утврђивањем односа њихове релативне важности на основу субјективних преференција доносиоца одлука, формирају се индивидуалне матрице преференцијалних односа. Преференцијални односи се исказују уз помоћ лингвистичких исказа и њима припадајућих фази бројева типа-1, сагласно скали датој у табели 47.

Тест конзистентности процена: У циљу отклањања евентуалних недоследности процена спроведен је тест конзистентности према концепту који је предложио *Saaty* [357], а који је у овом раду детаљно појашњен у потпоглављу 8.1. Као индикатор

конзистентности користи се параметар CR , изведен за дефазификовани облик матрице упоредног поређења, при чему, уколико је услов $CR_k \leq 10\%$, ($k = 1, 2, \dots, K$) задовољен сматра се да је ниво недоследности матрица у дозвољеним границама. Тесту конзистентности су подвргнуте све индивидуалне матрице преференцијалних односа, успостављене у претходном кораку, при чему случајни индекс конзистентности за ове матрице износи $RI_{7 \times 7} = 1.32$. Према резултатима теста постигнут је задовољавајући ниво конзистентности за све матрице ($CR_1 = 0.07, CR_2 = 0.08, CR_3 = 0.05, CR_4 = 0.08, CR_5 = 0.07$).

Агрегација индивидуалних преференција доносилаца одлуке: Агрегација индивидуалних матрица преференцијалних односа је извршена применом фази геометријске средине према (66), као резултат генерисана је агрегирана матрица (табела 53) која одражава консолидована мишљења свих учесника процеса одлучивања.

Табела 53. Фази агрегирана матрица преференцијалних односа

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
f_1	(1,1,1)	(1,74,2,77,3,78)	(0,74,1,25,2,05)	(0,52,0,76,1,25)	(2,61,3,65,4,68)	(2,22,3,29,4,32)	(1,64,2,7,3,73)
f_2	(0,26,0,36,0,57)	(1,1,1)	(0,61,1,06,1,68)	(0,37,0,5,0,74)	(1,4,1,97,2,55)	(0,96,1,55,2,17)	(0,94,1,4,2,06)
f_3	(0,49,0,8,1,35)	(0,59,0,94,1,64)	(1,1,1)	(0,38,0,58,0,82)	(1,06,1,78,2,7)	(0,92,1,64,2,55)	(0,87,1,52,2,22)
f_4	(0,8,1,32,1,93)	(1,35,2,2,72)	(1,22,1,72,2,61)	(1,1,1)	(1,64,2,7,3,73)	(1,32,2,35,3,37)	(1,64,2,7,3,73)
f_5	(0,21,0,27,0,38)	(0,39,0,51,0,72)	(0,37,0,56,0,94)	(0,27,0,37,0,61)	(1,1,1)	(0,47,0,66,1,11)	(0,43,0,61,1)
f_6	(0,23,0,3,0,45)	(0,46,0,64,1,05)	(0,39,0,61,1,08)	(0,3,0,43,0,76)	(0,9,1,52,2,14)	(1,1,1)	(1,1,74,2,41)
f_7	(0,27,0,37,0,61)	(0,48,0,72,1,06)	(0,45,0,66,1,15)	(0,27,0,37,0,61)	(1,1,64,2,35)	(0,42,0,57,1)	(1,1,1)

Прорачун фази синтетичке вредности опсега критеријума ($\tilde{S}_i$): Предложени процес приоритизације се заснива на анализи опсега, као резултат ове анализе формира се фази синтетичка вредност опсега ($\tilde{S}$) за сваки од разматраних критеријума, ове вредности су изведене из агрегиране матрице преференцијалних односа према (67-71). У наставку је приказан пример одређивања фази синтетичке вредности опсега за критеријум f_1 – *Функционалне могућности решења*, за све остале критеријуме, вредности опсега су представљене у табели 54.

$$\tilde{S}_1 = (10.47, 15.41, 20.79) \otimes (41.61, 60.87, 85.4)^{-1} = (0.123, 0.253, 0.5) \text{ (67-71)}$$

Табела 54. Фази синтетичка вредност опсега разматраних критеријума ($\tilde{S}$)

Критеријуми	Фази синтетичке вредности опсега критеријума ($\tilde{S}$)
f_1 Функционалне могућности решења	(0.123, 0.253, 0.5)
f_2 Технолошка основа решења	(0.065, 0.129, 0.259)
f_3 Ефикасност решења	(0.062, 0.136, 0.295)
f_4 Трошкови решења	(0.105, 0.227, 0.459)
f_5 Фактор провајдера решења	(0.037, 0.065, 0.138)
f_6 Компатибилност решења са оперативним околностима	(0.05, 0.102, 0.214)
f_7 Лакоћа употребе решења	(0.046, 0.088, 0.187)

Одређивање вероватноће према којој је неки фази конвексни број $\tilde{S}$ већи од скупа n фази бројева $V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_n)$: За потпуно поређење $\tilde{S}_i$ у односу на скуп n фази бројева $(\tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_n)$ (n је укупан број критеријума обухваћених приоритизацијом) је потребно одредити вероватноће са којима је $\tilde{S}_i$ супериорно у односу на $\tilde{S}_j$ за сваки пар поређења, односно $V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j) \ i, j = 1, 2, \dots, n, i \neq j$). Процес

се изводи сагласно изразима (72-75), као резултат формирана је матрица вероватноће $V(\tilde{S}_i \geq \tilde{S}_j)$, приказана је у табели 55.

Табела 55. Матрица вероватноће ($\tilde{S} \geq \tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_n$)

	$\tilde{S}_1$	$\tilde{S}_2$	$\tilde{S}_3$	$\tilde{S}_4$	$\tilde{S}_5$	$\tilde{S}_6$	$\tilde{S}_7$
$\tilde{S}_1$	-	1	1	1	1	1	1
$\tilde{S}_2$	0.523	-	0.966	0.612	1	1	1
$\tilde{S}_3$	0.596	1	-	0.677	1	1	1
$\tilde{S}_4$	0.927	1	1	-	1	1	1
$\tilde{S}_5$	0.078	0.537	0.519	0.171	-	0.704	0.807
$\tilde{S}_6$	0.377	0.849	0.819	0.466	1	-	1
$\tilde{S}_7$	0.28	0.747	0.721	0.370	1	0.902	-

Одређивање тежинских вектора критеријума (w) и њихова нормализација: Минимизацијом вероватноћа $V(\tilde{S} \geq \tilde{S}_1, \tilde{S}_2, \dots, \tilde{S}_n)$ одређених у претходном кораку, дефинисани су тежински вектори критеријума (w_i) (76, 77). Тежински вектори разматраних критеријума и њихове нормализоване вредности дате су у табели 56.

Табела 56. Релативне тежине критеријума (w_i)

Критеријуми	Тежински вектори критеријума (w)	Нормализовани тежински вектори критеријума (w)
f_1 Функционалне могућности решења	1	0.265
f_2 Технолошка основа решења	0.5234	0.138
f_3 Ефикасност решења	0.5956	0.158
f_4 Трошкови решења	0.9268	0.245
f_5 Фактор провајдера решења	0.0776	0.021
f_6 Компатибилност решења са оперативним околностима	0.3765	0.1
f_7 Лакоћа употребе решења	0.2797	0.074

Према резултатима приоритизације критеријума највећу релативну важност у процесу одлучивања о избору PLM софтверског решења доносиоци одлуке додељују критеријуму *Функционалне могућности решења* (0.265), следи критеријум *Трошкови решења* (0.245), док су критеријуми ниже релативне важности *Лакоћа употребе решења* (0.074) и *Фактори провајдера решења* (0.021), стога ће ови критеријуми имати слабији утицај на одлуку.

Фаза 4: Рангирање алтернатива применом PROMETHEE методе

Рангирање алтернатива сагласно њиховој укупној повољности у односу на циљеве одлучивања према PROMETHEE методи се заснива на процедури која укључује дефинисање *outranking* релација и њихову експлоатацију у циљу генерисања парцијалног поретка алтернатива сагласно PROMETHEE I методи или њиховог потпуног поретка према PROMETHEE II методи. Процес разматра дванаест алтернативних решења, оцењених у претходно успостављеном систему критеријума, сагласно формираној матрици одлучивања (табела 52). Концепт PROMETHEE методе и поступак њене примене детаљно су представљени у потпоглављу 9.2.3.

Одређивање типа преференцијске функције критеријума и припадајућих параметара: За претходно дефинисане критеријуме одлучивања одређен је тип преференцијске функције (табела 57) која најближе одражава природу преференција

и припадајући параметри (p, q, σ) који дефинишу праг стриктне преференције, праг индиференције критеријума и у случају Гаусове функције преломну тачку функције преференције. Док се за тежине критеријума усвајају тежински коефицијенти одређени на основу претходно спроведеног процеса приоритизације критеријума применом фази АНР методе (табела 56).

Табела 57. Тип преференцијске функције критеријума, припадајући параметри и тежине

Критеријуми		f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7
Тип преференцијске функције		III	VI	III	V	IV	V	VI
Параметри	p	0.2	-	2.6	1.17	1	1.2	-
	q	-		-	7.33	2.5	3	-
	σ	-	0.49	-	-	-	-	0,76
Захтев min/max		Max	Max	Max	Min	Max	Max	Max
Релативне тежине критеријуме		0.265	0.138	0.158	0.245	0.021	0.1	0.074

Одређивање функције преферентности $P(a, b)$ и индекса преференције $\pi(a, b)$:

На основу припадајућих оцена алтернатива додељених у матрици одлучивања (табела 52) извршено је поређење алтернатива по паровима, како би се дефинисале *outranking* релације. Што најпре захтева одређивање функције преференције за сваки пар упоређиваних алтернатива $P(a, b)$ (80) која одражава интензитет преферентности алтернативе a у односу на алтернативу b по одређеном критеријуму. Агрегацијом добијених вредности функције преферентности по сваком од критеријума генерисан је индекс преференције $\pi(a, b)$ (85) као показатељ глобалне преферентности алтернативе a у односу на алтернативу b , узимајући у обзир све критеријуме.

Генерисање ранга алтернатива: Решавање проблема рангирања алтернатива на основу индекса преференције сагласно PROMETHEE I методи засновано је на одређивању вредности излазног $\emptyset^+(a)$ и улазног $\emptyset^-(a)$ тока (86 и 87). Вредност улазног, излазног и нето тока алтернатива су представљени у табели 58. При чему, већа вредност излазног тока указује на већу доминантност дате алтернативе у односу на остале, такође, мања вредност њеног улазног тока, указује на мањи број алтернатива које доминирају над датом алтернативом. На основу овако дефинисаних токова могуће је одредити два потпуна поретка као у наставку, на примеру алтернатива a_1 и a_2 :

$$\begin{aligned} a_1 P^+ a_2 & \text{ акко } \emptyset^+(a_1) > \emptyset^+(a_2) \Rightarrow \text{ДА} \\ a_1 I^+ a_2 & \text{ акко } \emptyset^+(a_1) = \emptyset^+(a_2) \Rightarrow \text{НЕ} \end{aligned} \quad (88)$$

и

$$\begin{aligned} a_1 P^- a_2 & \text{ акко } \emptyset^-(a_1) < \emptyset^-(a_2) \Rightarrow \text{ДА} \\ a_1 I^- a_2 & \text{ акко } \emptyset^-(a_1) = \emptyset^-(a_2) \Rightarrow \text{НЕ} \end{aligned} \quad (88)$$

Анализом пресека овако дефинисаних поредака $[P^+, I^+]$ и $[P^-, I^-]$, дефинише се парцијални поредак алтернатива, као у наставку:

Преферентност алтернативе a_1 у односу на алтернативу a_2 :

$$a_1 P^I a_2 \quad \text{акко} \quad \begin{cases} \emptyset^+(a_1) > \emptyset^+(a_2) \text{ и } \emptyset^-(a_1) < \emptyset^-(a_2) \Rightarrow \text{ДА и ДА или} \\ \emptyset^+(a_1) = \emptyset^+(a_2) \text{ и } \emptyset^-(a_1) < \emptyset^-(a_2) \Rightarrow \text{НЕ и ДА или} \\ \emptyset^+(a_1) > \emptyset^+(a_2) \text{ и } \emptyset^-(a_1) = \emptyset^-(a_2) \Rightarrow \text{ДА и НЕ} \end{cases} \quad (88)$$

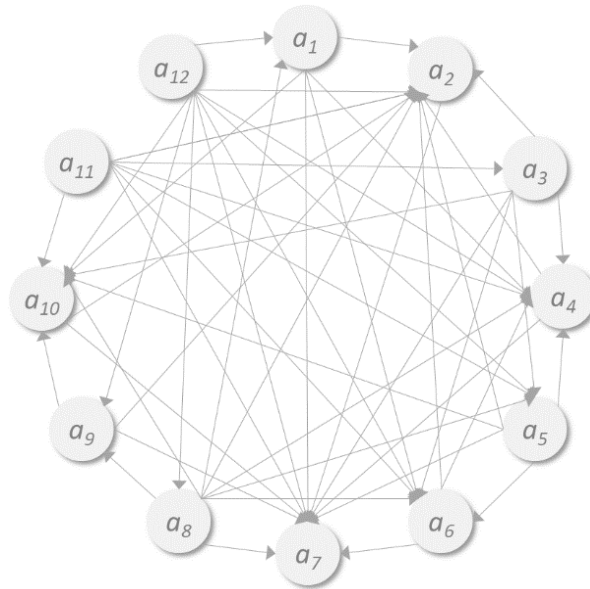
Индиферентност алтернатива:

$$a_1 I^I a_2 \quad \text{акко} \quad \emptyset^+(a_1) = \emptyset^+(a_2) \text{ и } \emptyset^-(a_1) = \emptyset^-(a_2) \Rightarrow \text{НЕ и НЕ} \quad (88)$$

Неупоредивост алтернатива:

$$a_1 R^I a_2 \quad \text{акко} \quad \begin{cases} \emptyset^+(a_1) > \emptyset^+(a_2) \text{ и } \emptyset^-(a_1) > \emptyset^-(a_2) \Rightarrow \text{ДА и НЕ или} \\ \emptyset^+(a_1) < \emptyset^+(a_2) \text{ и } \emptyset^-(a_1) < \emptyset^-(a_2) \Rightarrow \text{НЕ и ДА} \end{cases} \quad (88)$$

На основу добијеног парцијалног поретка могуће је констатовати да се алтернативи a_1 додељује преферентност у односу на алтернативу a_2 ($a_1 P^I a_2 \Rightarrow \text{ДА}$; $a_1 I^I a_2 \Rightarrow \text{НЕ}$; $a_1 R^I a_2 \Rightarrow \text{НЕ}$). Аналогно овој процедури, одређује се парцијални поредак за остале парове упоређиваних алтернатива, на основу добијених резултата конструисан је резултантни граф (слика 60).



Слика 60. Резултантни граф за проблем избора PLM софтверског решења изведен према методи PROMETHEE I

За разлику од приступа парцијалног поретка, PROMETHEE II уводи релацију нето тока $\emptyset(a)$ (89), која успоставља баланс између вредности улазног и излазног тока и омогућава генерисање потпуног поретка алтернатива, превазилазећи истовремено проблем неупоредивости алтернатива, будући да је при поређењу алтернатива могућа само једна од наредне две релације:

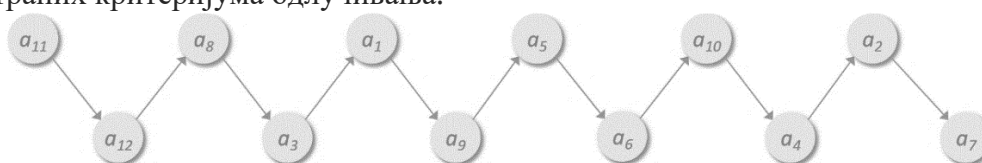
$$\begin{aligned} a_1 P^{II} a_2 \quad \text{акко} \quad \emptyset(a_1) > \emptyset(a_2) &\Rightarrow \text{ДА} \\ a_1 I^{II} a_2 \quad \text{акко} \quad \emptyset(a_1) = \emptyset(a_2) &\Rightarrow \text{НЕ} \end{aligned} \quad (90)$$

Вредности улазног, излазног и нето тока и на основу њега генерисани потпуни поредак алтернатива су представљени у табели 58.

Табела 58. Вредности излазног, улазног и нето тока и потпуни поредак алтернатива

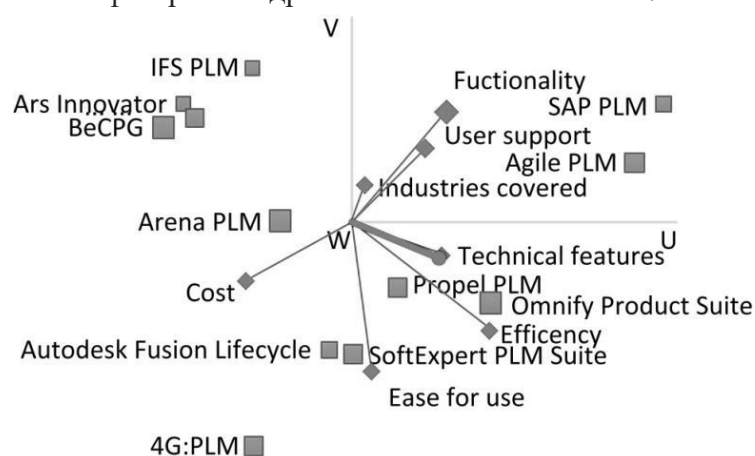
Алтернативе		$\phi^+(a_i)$	$\phi^-(a_i)$	$\phi(a_i)$	Потпуни поредак алтернатива
a_1	Arena PLM	0.228	0.179	0.049	5
a_2	PTC PLM	0.102	0.353	-0.251	11
a_3	Agile PLM	0.310	0.213	0.097	4
a_4	4G:PLM	0.214	0.309	-0.095	10
a_5	Aras Innovator	0.231	0.254	-0.023	7
a_6	BeCPG	0.221	0.277	-0.056	8
a_7	IFS PLM	0.095	0.379	-0.284	12
a_8	Omnify Product Suite	0.295	0.143	0.152	3
a_9	Propel PLM	0.210	0.174	0.036	6
a_{10}	Autodesk Fusion Lifecycle	0.195	0.266	-0.071	9
a_{11}	SAP PLM	0.449	0.203	0.246	1
a_{12}	SoftExpert PLM Suite	0.303	0.106	0.198	2

Резултантни граф за посматрани проблем рангирања PLM софтверских решења (слика 61) генерисан сагласно PROMETHEE II методи приказује потпуни поредак алтернатива према коме је најбоље рангирана алтернатива a_{11} - SAP PLM софтверско решење, која сагласно највећој вредности нето тока $\phi(a_{11}) = 0.246$, доминира у односу на остале алтернативе. Стога се алтернатива a_{11} усваја као најприхватљивије решење, сагласно дефинисаним циљевима одлучивања и субјективним преференцијама доносилаца одлуке, узимајући у обзир различит релативни значај разматраних критеријума одлучивања.



Слика 61. Резултантни граф за проблем избора PLM решења по методи PROMETHEE II

Интерпретација резултата – GAIA Plane анализа: У циљу интерпретације резултата спроведене вишекритеријумске анализе за проблем избора PLM софтверског решења, генерисан је *Geometrical Analysis for Interactive Aid (GAIA) Plane* (слика 62) уз помоћ софтверске подршке Visual PROMETHEE.



Слика 62. GAIA Plane за проблем избора PLM софтверског решења

GAIA Plane (*Geometrical Analysis for Interactive Aid Plane*) представља визуелни интерактивни приступ у анализи добијених резултата вишекритеријумске анализе, разумевању специфичности проблема, идентификацији синергије или конфликта између критеријума, омогућава истицање кластера алтернатива или алтернатива са изузетним преференцијама. Квалитет креираног визуелног приказа GAIA Plane је 80.9% што значи да је врло мало информација изгубљено приликом визуелизације резултата. Креирани GAIA Plane указује да постоји синергија између критеријума *функционалне могућности решења*, *фактор провајдера решења* и *компатибилност са оперативним околностима предузећа*, другу групу блиских критеријума чине *ефикасност* и *технолошка основа решења*, док су критеријуми *трошкови* и *лакоћа употребе* решења конфликтни у односу на остале критеријума. Са друге стране софтверска решења *SAP PLM*, *AGILE PLM* и *Omnify Product Suite* у односу на остале алтернативе исказују најбоље перформансе по питању функционалности и фактора провајдера, али нешто слабије у погледу трошкова и лакоће употребе. Софтверска решења *Agile PLM*, *SAP PLM*, *Propel PLM*, *Omnify Product Suite*, *Autodesk Fusion Lifecycle*, *4G:PLM* и *SoftExpert PLM Suite* у највећој мери задовољавају исказане захтеве доносиоца одлуке у погледу ефикасности и технолошке основе решења. Најприхватљивије алтернативе према критеријуму *трошкови решења* су софтверска решења *4G:PLM*, *BeCPG*, *Aras Innovator*, *Arena PLM* и *SoftExpert PLM Suite*. Такође, према критеријуму *компатибилност са оперативним околностима предузећа* најбоље перформансе показују решења *Aras Innovator*, *Autodesk Fusion Lifecycle* и *SAP PLM*.

Имплементирани модел одлучивања је пружио холистички приступ заснован на принципима вишекритеријумске анализе. У контексту приказане студије случаја, модел је омогућио избор решења које задовољава специфичне функционалне, техничке и организационе захтеве предузећа; подржава захтеве управљања информацијама о производу у оперативним околностима карактеристичним за предузеће; превазилази проблеме ниске интероперабилности, некомпатибилних модела података и интерфејса у односу на наслеђене системе; смањује ризик додатних трошкова надоградњи и прилагођавања, ниске операбилности PLM окружења услед сложености и спорог прихватања нових технологија итд. Структуриран методолошки приступ је омогућио доносиоцима одлуке да на математички једноставан начин процене релативну важност и значајност разлика међу елементима одлучивања, консолидујући међусобно супротстављене циљеве, док је примена теорије фази скупова утицала на рационалност процеса одлучивања у условима неодређености.

10 ЗАКЉУЧАК

Истраживање обухваћено докторском дисертацијом разматра проблем оптимизације процеса имплементације PLM-a, узимајући у обзир потребе индустрије за усмеравањем PLM стратегије у правцу оснаживања иновационих потенцијала ППС-а. У склопу реализованог истраживања установљен је нови методолошки оквир за подршку имплементацији PLM приступа заснован на процесно оријентисаној парадигми и принципима инкременталног и итеративног развоја, који у односу на претходно установљене иницијативе уводи одређена методолошка унапређења.

Специфичан аспект ових унапређења се односи на успостављање референтног PLM функционалног модела који дефинише кључна подручја развоја PLM компетенција, указујући на кључне компоненте и односе неопходне за успостављање PLM-a у различитим индустријским контекстима. Истовремено доприноси успостављању теоријског модела PLM функционалног домена у складу са тренутним статусом његове технолошке и концептуалне еволуције.

Као свој најзначајнији допринос, оквир дефинише интегрални вишекритеријумски модел оптимизације процеса имплементације PLM-a заснован на принципима *ex-ante* евалуације, у склопу кога је развијено и приказано пет модела: 1) TCO модел предикције трошкова имплементације; 2) модел анализе ризика и 3) модел анализе сложености пројеката имплементације; 4) BSC заснован модел евалуације стратешких доприноса PLM-a; 5) модел за предикцију утицаја PLM-a на организационе способности развоја нових производа. Развијени модели представљају својеврсне аналитичке оквири који дефинишу структурирану, научно засновану методологију евалуације, обухватајући све релевантне аспекте неопходне за правилно разумевање специфичних потреба ППС-а и њихових приоритета. Као посебан допринос истраживања, у склопу петог аналитичког оквира, развијен је нормативно-контингентни модел евалуације процеса развоја нових производа, који у контексту предложеног приступа преузима улогу механизма за критичко преиспитивање тренутног стања и мапирање латентних потреба у контексту оптимизације организационих способности развоја нових производа.

Предложена методологија евалуације се заснива на методама вишекритеријумског одлучивања, укључујући АНР методу за извођење тежинских коефицијената и значајности разлика између атрибута евалуације; MULTIMOORA методу са унапређеним *Borda* правилом за агрегацију преференција генерисаних на основу парцијалних MULTIMOORA функција корисности и извођење коначног ранга приоритета и QFD анализу за откривање и моделовање релација између променљивих у моделу. При чему се предлаже проширење њихових конвенционалних концепата применом теорије IT2F скупова за описивање непрецизних променљивих које егзистирају у моделу.

Као додатни допринос, оквир дефинише модел одлучивања за евалуацију и избор софтверске подршке која ће на оптималан начин подржати PLM стратегију у околностима специфичним за предузеће. Посматрајући ово питање као проблем вишекритеријумске анализе, модел дефинише систем критеријума према којима је могуће извршити свеобухватну евалуацију и поређење перформанси алтернативних решења; предвиђа механизам заснован на *Delphi* процесу за прилагођавање базе критеријума одлучивања специфичном контексту; утврђује методологију одлучивања засновану на интегралном моделу вишекритеријумског одлучивања.

Хипотезе које су дефинисане на почетку истраживања су потврђене кроз развој и примену предложених модела. За потребе валидације предложеног методолошког приступа коришћени су емпиријски подаци који потичу из предузећа прерађивачке индустрије. У наставку је изложена анализа резултата истраживања са освртом на полазне хипотезе.

Х.1 Могуће је развити оптималан модел процеса имплементације PLM концепта, сагласно специфичним потребама ППС-а, применом приступа вишекритеријумске анализе и теорије фази скупова

Посматрајући питање оптимизације процеса имплементације PLM-а као проблем вишекритеријумске анализе развијен је интегрални модел *ex-ante* евалуације, који комбинујући аспекте 1) неопходних улагања; 2) фактора исхода у контексту организационог учинка; 3) фактора процеса имплементације и 4) доприноса у контексту ширих иницијатива за развој иновационих потенцијала предузећа, у јединствен, вишедимензионални оквир евалуације, пружа холистички приступ који разматра све релевантне аспекте неопходне за правилно разумевање пословних потреба, узимајући у обзир шире пословне околности и факторе који из њих произилазе.

Имајући у виду да се разматрани процес евалуације одвија у ситуацији сложених атрибута објекта евалуације, значајних разлика у преференцијама у зависности од аспекта евалуације али и њихову конфликтну природу, успостављена је методологија способна да одговори на сложену и неструктурирану природу овог проблема, што се у приступу који се предлаже постиже кроз примену метода вишекритеријумског одлучивања и QFD анализе. Како се процене обухваћене моделом заснивају на субјективним перцепцијама представника персонализованог знања и искуства, приближном резонувању, непотпуним и нејасним информацијама и као такве се не могу егзактно исказати, нити директно и аналитички објаснити, уводи се теорија IT2F скупова, која је омогућила исказивање преференција прилагођено човековом начину размишљања и превазилажење несигурности повезаних са људским когнитивним процесом и другим изворима неодређености.

Примена модела у реалном контексту потврђује његову способност да генерише објективне смерница за успостављање модела развоја PLM компетенција који је оптималан са аспекта пословних приоритета предузећа, ширих пословних околности и ограничења која из њих проистичу. Овим се доприноси превазилажењу проблема неефикасних процеса имплементације, чији ефекти у почетним итерацијама не генеришу значајније пословне вредности за предузеће, због чега се губи поверење у оправданост PLM иницијативе и слаби њен потенцијал за мобилисање неопходних организационих полуга, док користи генерисане увођењем PLM технологија немају потенцијал да прерасту у одрживу пословну вредност итд.

Х.2 Вишекритеријумска евалуација организационих способности за управљање иновационим процесима развоја производа пружа основу за идентификовање специфичних потреба ППС-а при имплементацији PLM концепта, сагласно оријентацији PLM стратегије ка развоју иновационих потенцијала предузећа

Приступ предложен у дисертацији заснива одлуке о моделу развоја PLM компетенција на предикцији доприноса које PLM генерише у контексту ширих иницијатива за оснаживање иновационог система ППС-а, уводећи концепт заснован на критичком преиспитивању процеса развоја нових производа за чије потребе је установљен нормативно-контингентни модел евалуације. Предложени модел уводи

вишедимензионални приступ евалуацији, третирајући способност развоја нових производа као интегрисани скуп организационих компетенција и динамичких способности, које се у контексту предложеног приступа тумаче као предиктори иновационог потенцијала ППС-а. Операционализација овог приступа је постигнута кроз утврђивање специфичних димензија организационих способности развоја нових производа чијом се оптимизацијом осигурава развој и дугорочна одрживост иновационих потенцијала ППС-а, при чему су у контексту предложеног приступа ове димензије усвојене као специфични аспекти евалуације.

Применом развијеног модела у реалним условима пословања потврђена је његова способност да дијагностикује слабости и укаже на потребу и приоритет оптимизације у специфичним аспектима организационе способности развоја нових производа, уважавајући њену вишедимензионалну природу. Мапирање ових потреба у односу на специфична PLM функционална подручја применом IT2FQFD анализе омогућило је квантификовање утицаја које остварују на организационе способности развоја нових производа, што је пружило објективне смернице за формулисање стратегије имплементације PLM-а која подржава континуирано унапређење процеса развоја нових производа у складу са потребама ППС-а.

Х.3 Успостављање методолошког приступа евалуацији и избору PLM софтверског решења доприноси успешној имплементацији PLM-а

Модел одлучивања за избор PLM софтверског решења развијен и имплементиран у оквиру дисертације пружа холистички приступ заснован на вишекритеријумској анализи проблема одлучивања, узимајући у обзир техничке, организационе и бихевиоралне импликације ових решења. Коришћење метода вишекритеријумског одлучивања омогућава доносиоцима одлука да на једноставан начин процене релативну важност и значајност разлика између елемената одлучивања у условима сложених атрибута објеката евалуације, консолидујући међусобно супротстављене циљеве, истовремено утиче на способност модела да одговори на неструктурирану природу проблема одлучивања. Проширење конвенционалних концепата ових метода теоријом фази скупова чини процес одлучивања рационалнијим у условима неодређености, омогућавајући исказивање преференција на начин прилагођен људском когнитивном процесу.

Увођење предложеног методолошког приступа омогућава избор софтверског решења које на оптималан начин подржава PLM стратегију у околностима специфичним за предузеће, што је значајно са аспекта успостављања одговарајућег технолошког решења које омогућава успостављање интегрисаног PLM окружења стварањем неопходних услова за повезивање информационих силоса, процеса и фрагмената аутоматизације у PLM окружењу у околностима специфичним за предузеће, као и институционализације PLM технологија и брже асимилације PLM технологија у пословну праксу, што се сматра претпоставкама успешне имплементације PLM-а.

Резултати проистекли из истраживања обухваћеног докторском дисертацијом могу бити применљиви као теоријска основа даљих истраживања као и за практичну примену. Доприноси предложеног методолошког приступа су детаљније образложени у претходном делу овог поглавља, уопштено његове практичне импликације би се могле сагледати кроз следеће аспекте: 1) успостављање оптималног модела процеса имплементације PLM концепта сагласно специфичним потребама ППС-а, узимајући у обзир шире пословне околности и ограничења која из њих проистичу; 2) генерисање јасних и објективних смерница за дефинисање и имплементацију PLM стратегије која у свом фокусу има развој иновационих потенцијала ППС-а; 3) успостављање

технолошког решења које на ефикасан начин подржава успостављање интегрисаног PLM окружења у околностима специфичним за предузеће.

Предложени методолошки оквир је довољно флексибилан да би се уз одређена прилагођавања могао применити у имплементацији сличних пословних концепата са израженом ИТ перспективом. Имајући у виду да развијени аналитички оквири покривају опште аспекте управљања пројектима имплементације PLM-а, њихова примена је могућа у контекстима ван предложеног методолошког приступа.

Општи теоријски допринос предложене методологије укључује моделирање непрецизних променљивих применом теорије IT2F скупова и увођење одређених методолошких унапређења примењених метода кроз модификације њихових конвенционалних концепта.

Предложени методолошки приступ испољава одређена ограничења која произилазе из сложености математичких прорачуна и субјективизма у проценама.

Правци будућих истраживања укључују: проширење нормативно-контингентног модела евалуације процеса развоја нових производа: 1.1) дефинисањем параметара за поређење са нормативним захтевима како би се смањио субјективизам у проценама и 1.2) увођењем додатних ситуационих варијабли за прилагођавање норматива процене у циљу повећања њихове релевантности у односу на контекст специфичан за предузеће; 2) примену других метода вишекритеријумског одлучивања за утврђивање тежинских фактора и испитивање значајности разлика између променљивих које егзистирају у моделу; 3) примена других форми фази скупова за моделирање неодређености и непрецизности које егзистирају у разматраном проблему вишекритеријумске анализе, попут *Pythagorean fuzzy sets*, *intuitionistic hesitant fuzzy*, *interval-valued spherical fuzzy* итд.

11 ЛІТЕРАТУРА

- [1] Abbasi, D., Ashrafi, M., & Ghodsypour, S. H. (2020). A multi objective-BSC model for new product development project portfolio selection. *Expert Systems with Applications*, 162, 113757.
- [2] Ahmad, S., Mallick, D. N., & Schroeder, R. G. (2013). New product development: impact of project characteristics and development practices on performance. *Journal of Product Innovation Management*, 30(2), 331-348.
- [3] Akram, M., Ramzan, N., Luqman, A., & Santos-García, G. (2022). An integrated MULTIMOORA method with 2-tuple linguistic Fermatean fuzzy sets: Urban quality of life selection application. *AIMS Math*, 7.
- [4] Al Jafa, H. (2020). A case study for the CRM software selection process in a transportation company using an integrated AHP and QFD approach. *SEA-Practical Application of Science*, 8(24), 337-351.
- [5] Alavi, S., Peivandzani, S., & Mirmohammadsadeghi, S. (2021). Risk assessment and prioritization of ERP implementation based on BSC. *Journal of Human, Earth, and Future*, 2(1), 16-23.
- [6] Aleksic, A., & Tadic, D. (2023). Industrial and management applications of type-2 multi-attribute decision-making techniques extended with type-2 fuzzy sets from 2013 to 2022. *Mathematics*, 11(10), 2249.
- [7] Aleksic, A., Milanovic, D. D., Komatina, N., & Tadic, D. (2023). Evaluation and ranking of failures in manufacturing process by combining best-worst method and VIKOR under type-2 fuzzy environment. *Expert Systems*, 40(2), e13148.
- [8] Alemanni, M., Alessia, G., Tornincasa, S., & Vezzetti, E. (2008). Key performance indicators for PLM benefits evaluation. *Computers in Industry*, 59(8), 833-841.
- [9] Aloini, D., Dulmin, R., & Mininno, V. (2012). Risk assessment in ERP projects. *Information Systems*, 37(3), 183-199.
- [10] Altahtooth, U. A., & Emsley, M. W. (2017). An introduction to project end theory in project management. *International Journal of Information Technology Project Management*, 8(3), 69-81.
- [11] Altuntas, S., Dereli, T., & Yilmaz, M. K. (2015). Evaluation of excavator technologies: application of data fusion based MULTIMOORA methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(8), 977-997.
- [12] Ameri, F., & Dutta, D. (2005). Product Lifecycle Management: closing the knowledge loops. *Computer-Aided Design and Applications*, 2(5), 577-590.
- [13] Anumba, C., Kamara, J. M., & Cutting-Decelle, A. F. (Eds.). (2007). *Concurrent Engineering in Construction Projects*. Taylor and Francis Group.
- [14] Arachchi, S. M., Chong, S. C., & Lakshanthi, A. D. S. M. (2015). Literature based review—risks in ERP systems including Asian countries. *European Journal of Computer Science and Information Technology*, 3(1), 1-14.
- [15] Arnold, V., Dettmering, H., Engel, T., & Karcher, A. (2011). *Product Lifecycle Management beherrschen: Ein Anwenderhandbuch für den Mittelstand*. Springer-Verlag.
- [16] Arribas, V., & José, A. (2016). Digital transformation of a small fashion house: a PLM implementation. In *Global Fashion Conference*.
- [17] AXELOS (2017). *Managing Successful Projects With PRINCE2*, AXELOS, 2017.
- [18] Ayağ, Z., & Yücekaya, A. (2019). A fuzzy ANP-based GRA approach to evaluate ERP packages. *International Journal of Enterprise Information Systems (IJEIS)*, 15(1), 45-68.
- [19] Aydin, M. N., & Dilan, E. (2017). Project management method adoption: A service industry case study. *International Journal of Information Technology Project Management (IJITPM)*, 8, 17-33.
- [20] Aydın, S., & Kutlu Gündoğdu, F. (2021). Interval-valued spherical fuzzy MULTIMOORA method and its application to industry 4.0. *Decision Making with Spherical Fuzzy Sets: Theory and Applications*, 295-322.
- [21] Ayvaz, E., Kaplan, K., & Kuncan, M. (2020). An integrated LSTM neural networks approach to sustainable balanced scorecard-based early warning system. *IEEE Access*, 8, 37958-37966.
- [22] Azmat, Z., & Siddiqui, M. A. (2023). Analyzing project complexity, its dimensions and their impact on project success. *Systems*, 11(8), 417.

- [23] Baccarini, D. (1996). The concept of project complexity—a review. *International Journal of Project Management*, 14(4), 201-204.
- [24] Bairagi, B., Dey, B., Sarkar, B., & Sanyal, S. K. (2015). A De Novo multi-approaches multi-criteria decision making technique with an application in performance evaluation of material handling device. *Computers & Industrial Engineering*, 87, 267-282.
- [25] Bakhshi, J., Ireland, V., & Gorod, A. (2016). Clarifying the project complexity construct: Past, present and future. *International Journal of Project Management*, 34(7), 1199-1213.
- [26] Barczak, G., & Kahn, K. B. (2012). Identifying new product development best practice. *Business Horizons*, 55(3), 293-305.
- [27] Barnabè, F. (2011). A “system dynamics-based Balanced Scorecard” to support strategic decision making: Insights from a case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 60(5), 446-473.
- [28] Basar, A. (2020). A novel methodology for performance evaluation of IT projects in a fuzzy environment: a case study. *Soft Computing*, 24(14), 10755-10770.
- [29] Batenburg, R., Helms, R. W., & Versendaal, J. (2006). PLM roadmap: stepwise PLM implementation based on the concepts of maturity and alignment. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 1(4), 333-351.
- [30] Baykasoğlu, A., & Gölcük, İ. (2017). Development of an interval type-2 fuzzy sets based hierarchical MADM model by combining DEMATEL and TOPSIS. *Expert Systems with Applications*, 70, 37-51.
- [31] Baykasoğlu, A., & Gölcük, İ. (2020). Comprehensive fuzzy FMEA model: a case study of ERP implementation risks. *Operational Research*, 20, 795-826.
- [32] Bharathi, S. V., Pramod, D., & Ramakrishnan, R. (2020). Risks assessment using fuzzy Petri nets for ERP extension in small and medium enterprises. In *Start-Ups and SMEs: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 564-588). IGI Global.
- [33] Bharathi, V., Raman, R., & Pramod, D. (2014). A FPN based risk assessment model for ERP implementation in small and medium enterprises. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 19(6), 747-759.
- [34] Bhatt, N., Guru, S., Thanki, S., & Sood, G. (2021). Analysing the factors affecting the selection of ERP package: a fuzzy AHP approach. *Information Systems and e-Business Management*, 19, 641-682.
- [35] Biazzo, S., & Bernardi, G. (2003). Organisational self-assessment options: a classification and a conceptual map for SME. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(8), 881-900.
- [36] Bitzer, M., Vielhaber, M., & Kaspar, J. (2016). Product Lifecycle Management—How to adapt PLM to support changing product development processes in industry? In *DS 85-1: Proceedings of the NordDesign 2016, Trondheim, Norway*, 360-369.
- [37] Black, D. (1976). Partial justification of the Borda count. *Public Choice*, 1-15.
- [38] Boehm, B. W. (1989). *Software risk management* IEEE computes society press. Los Alamitos, CA.
- [39] Bokinge, M., & Malmqvist, J. (2012). PLM implementation guidelines—relevance and application in practice: a discussion of findings from a retrospective case study. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 6(1), 79-98.
- [40] Bolar, A. A., Tesfamariam, S., & Sadiq, R. (2017). Framework for prioritizing infrastructure user expectations using Quality Function Deployment (QFD). *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 16-29.
- [41] Bolat, B., Kuşdemir, A., Uslu, İ. C., & Temur, G. T. (2017). An assessment for IT project maturity levels. *International Journal of Information Technology Project Management (IJITPM)*, 8(2), 1-16.
- [42] Boral, S., & Chakraborty, S. (2021). Failure analysis of CNC machines due to human errors: An integrated IT2F-MCDM-based FMEA approach. *Engineering Failure Analysis*, 130, 105768.
- [43] Bosch-Rekveltdt, M., Jongkind, Y., Mooi, H., Bakker, H., & Verbraeck, A. (2011). Grasping project complexity in large engineering projects: The TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework. *International Journal of Project Management*, 29(6), 728-739.
- [44] Bottani, E., & Rizzi, A. (2006). Strategic management of logistics service: A fuzzy QFD approach. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 585-599.

- [45] Bouchereau, V., & Rowlands, H. (2000). Methods and techniques to help quality function deployment (QFD). *Benchmarking: An International Journal*, 7(1), 8-20.
- [46] Brady, T., & Davies, A. (2014). Managing structural and dynamic complexity: A tale of two projects. *Project Management Journal*, 45(4), 21-38.
- [47] Brans, J. P. (2002). Ethics and decision. *European Journal of Operational Research*, 136(2), 340-352.
- [48] Brans, J. P. and Vincke, P. (1985). A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making). *Management Science*, 31(6), 647-656.
- [49] Brans, J. P., & Mareschal, B. (1992). PROMETHEE V: MCDM problems with segmentation constraints. *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 30(2), 85-96.
- [50] Brans, J. P., & Mareschal, B. (1995). The PROMETHEE VI procedure: how to differentiate hard from soft multicriteria problems. *Journal of Decision Systems*, 4(3), 213-223.
- [51] Brauers, W. K. & Zavadskas, E. K. (2006). The MOORA method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, 35, 445-469.
- [52] Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2010). Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(1), 5-24.
- [53] Brauers, W. K. M., & Zavadskas, E. K. (2012). Robustness of MULTIMOORA: a method for multi-objective optimization. *Informatica*, 23(1), 1-25.
- [54] Bruno, G., Antonelli, D., & Villa, A. (2015). A reference ontology to support Product Lifecycle Management. *Procedia CIRP*, 33, 41-46.
- [55] Bruno, G., Faveto, A., & Traini, E. (2020). An open source framework for the storage and reuse of industrial knowledge through the integration of PLM and MES. *Management and Production Engineering Review*, 11.
- [56] Bryson, N. (1995). A goal programming method for generating priority vectors. *Journal of the Operational Research Society*, 46(5), 641-648.
- [57] Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 17(3), 233-247.
- [58] Булат, В. (1999). *Индустријски менаџмент – нова парадигма*. ИЦИМ. Крушевац
- [59] Büyüközkan, G., & Gülleryüz, S. (2016). A new integrated intuitionistic fuzzy group decision making approach for product development partner selection. *Computers & Industrial Engineering*, 102, 383-395.
- [60] Büyüközkan, G., Karabulut, Y., & Arsenyan, J. (2017). RFID service provider selection: An integrated fuzzy MCDM approach. *Measurement*, 112, 88-98.
- [61] Çakır, S. (2016). Selecting appropriate ERP software using integrated fuzzy linguistic preference relations—fuzzy TOPSIS method. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 9(3), 433-449.
- [62] Santamessa, M., Montagna, F., & Neirotti, P. (2012). Understanding the organizational impact of PLM systems: Evidence from an aerospace company. *International Journal of Operations & Production Management*, 32(2), 191-215.
- [63] Cao, H., & Folan, P. (2012). Product life cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950–2009. *Production Planning & Control*, 23(8), 641-662.
- [64] Cao, H., Folan, P., Mascolo, J., & Browne, J. (2009). RFID in Product Lifecycle Management: a case in the automotive industry. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22(7), 616-637.
- [65] Carnevali, J. A., & Miguel, P. C. (2008). Review, analysis and classification of the literature on QFD—Types of research, difficulties and benefits. *International Journal of Production Economics*, 114(2), 737-754.
- [66] Carter, D. E., & Baker, B. S. (1992). *CE, Concurrent Engineering: The Product Development Environment for the 1990s*. Addison Wesley Publishing Company.
- [67] Çebi, F., & Otay, I. (2016). A two-stage fuzzy approach for supplier evaluation and order allocation problem with quantity discounts and lead time. *Information Sciences*, 339, 143-157.
- [68] Celik, E., & Akyuz, E. (2018). An interval type-2 fuzzy AHP and TOPSIS methods for decision-making problems in maritime transportation engineering: the case of ship loader. *Ocean Engineering*, 155, 371-381.

- [69] Chan, A. (2004). Using an effective metrics program to support business objectives. *The PDMA Handbook of New Product Development*, 445-454.
- [70] Chan, F. T., Kumar, N., Tiwari, M. K., Lau, H. C., & Choy, K. (2008). Global supplier selection: a fuzzy-AHP approach. *International Journal of Production Research*, 46(14), 3825-3857.
- [71] Chandran, B., Golden, B., & Wasil, E. (2005). Linear programming models for estimating weights in the analytic hierarchy process. *Computers & Operations Research*, 32(9), 2235-2254.
- [72] Chang, B., Kuo, C., Wu, C. H., & Tzeng, G. H. (2015). Using fuzzy analytic network process to assess the risks in enterprise resource planning system implementation. *Applied Soft Computing*, 28, 196-207.
- [73] Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649-655.
- [74] Chang, W., & Taylor, S. A. (2016). The effectiveness of customer participation in new product development: A meta-analysis. *Journal of Marketing*, 80(1), 47-64.
- [75] Chatti, H., Radouche, T., & Asfoura, E. (2021). Framework for the evaluation of the ERP implementation success: case study in SMEs. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 24(4), 1-25.
- [76] Chen, J., Damanpour, F., & Reilly, R. R. (2010). Understanding antecedents of new product development speed: A meta-analysis. *Journal of Operations Management*, 28(1), 17-33.
- [77] Chen, S. H., Wang, P. W., Chen, C. M., & Lee, H. T. (2010). An analytic hierarchy process approach with linguistic variables for selection of an R&D strategic alliance partner. *Computers & Industrial Engineering*, 58(2), 278-287.
- [78] Chen, S. X., Wang, J. Q., & Wang, T. L. (2019). Cloud-based ERP system selection based on extended probabilistic linguistic MULTIMOORA method and Choquet integral operator. *Computational and Applied Mathematics*, 38, 1-32.
- [79] Chen, X., Zhao, L., & Liang, H. (2018). A novel multi-attribute group decision-making method based on the MULTIMOORA with linguistic evaluations. *Soft Computing*, 22, 5347-5361.
- [80] Chen, Y., Ran, Y., Huang, G., Xiao, L., & Zhang, G. (2021). A new integrated MCDM approach for improving QFD based on DEMATEL and extended MULTIMOORA under uncertainty environment. *Applied Soft Computing*, 105, 107222.
- [81] Chiesa, V., Coughlan, P., & Voss, C. A. (1996). Development of a technical innovation audit. *Journal of Product Innovation Management: An International Publication of the Product Development & Management Association*, 13(2), 105-136.
- [82] Chin, K. S., Wang, Y. M., Yang, J. B., & Poon, K. K. G. (2009). An evidential reasoning based approach for quality function deployment under uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 5684-5694.
- [83] Choo, E. U., Schoner, B., & Wedley, W. C. (1999). Interpretation of criteria weights in multicriteria decision making. *Computers & Industrial Engineering*, 37(3), 527-541.
- [84] Chu, H., He, J., Yang, Y., Huang, Y., Wang, S., & Wu, Y. (2022). Economic-Environmental-social benefits assessment of wind power hydrogen production project based on cloud-MULTIMOORA approach. *Sustainability*, 14(15), 9118.
- [85] CIMdata (2002). *Product Lifecycle Management: Empowering the Future of Business*. CIMdata.
- [86] CIMdata (2005). The high-end MCAD and cPDM market segments of the PLM industry. *A CIMdata Market Segment Spotlight*. CIMdata.
- [87] CIMdata (2017). *Achieving the Most from Model-Based Enterprise Implementations*. CIMdata.
- [88] CIMdata (2018). *Cloud PLM: Understanding Adoption Prospects CIMdata Multi-Client Research*. CIMdata.
- [89] CIMdata (2019). *Next Generation—Digitally Connected PLM*. CIMdata.
- [90] Claudy, M. C., Peterson, M., & Pagell, M. (2016). The roles of sustainability orientation and market knowledge competence in new product development success. *Journal of Product Innovation Management*, 33, 72-85.
- [91] Cohen, L. (1995). *Quality Function Deployment: How to Make QFD Work for You*, AddisonWesley, Reading, MA.
- [92] Cooper, R. G. (2019). The drivers of success in new-product development. *Industrial Marketing Management*, 76, 36-47.

- [93] Corallo, A., Latino, M. E., Lazoi, M., Lettera, S., Marra, M., & Verardi, S. (2013). Defining product lifecycle management: A journey across features, definitions, and concepts. *International Scholarly Research Notices*, 2013.
- [94] Cormican, K., & O'Sullivan, D. (2004). Auditing best practice for effective product innovation management. *Technovation*, 24(10), 819-829.
- [95] Costantino, F., Di Gravio, G., & Nonino, F. (2015). Project selection in project portfolio management: An artificial neural network model based on critical success factors. *International Journal of Project Management*, 33(8), 1744-1754.
- [96] Crawford, G., & Williams, C. (1985). A note on the analysis of subjective judgment matrices. *Journal of Mathematical Psychology*, 29(4), 387-405.
- [97] Cricelli, L., Famulari, F. M., Greco, M., & Grimaldi, M. (2020). Searching for the one: Customer relationship management software selection. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 27, 173-188.
- [98] Csutora, R., & Buckley, J. J. (2001). Fuzzy hierarchical analysis: the Lambda-Max method. *Fuzzy Sets and Systems*, 120(2), 181-195.
- [99] Чупић, М., Сукновић, М. (2010). *Одлучивање*, Факултет организационих наука, Београд.
- [100] d'Avolio, E., Bandinelli, R., & Rinaldi, R. (2015). How product development can be improved in fast fashion industry: An Italian case. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 718-728). Springer. Cham.
- [101] d'Avolio, E., Bandinelli, R., & Rinaldi, R. (2017). A process-oriented framework for PLM implementation in fashion companies. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 10(3), 191-209.
- [102] Dahooie, J. H., Zavadskas, E. K., Firoozfar, H. R., Vanaki, A. S., Mohammadi, N., & Brauers, W. K. M. (2019). An improved fuzzy MULTIMOORA approach for multi-criteria decision making based on objective weighting method (CCSD) and its application to technological forecasting method selection. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 79, 114-128.
- [103] Damasiotis, V., & Fitsilis, P. (2023). A complexity scoring model for evaluating complexity of software projects. *International Journal of Project Organisation and Management*, 15(1), 48-76.
- [104] Daniel, J., & Merigo, J. M. (2021). Developing a new multidimensional model for selecting strategic plans in BSC. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 40(2), 1817-1826.
- [105] Dao, B., Kermanshachi, S., Shane, J., Anderson, S., & Hare, E. (2017). Exploring and assessing project complexity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(5), 04016126.
- [106] De Carolis, A., Macchi, M., Kulvatunyoo, B., Brundage, M. P., & Terzi, S. (2017). Maturity models and tools for enabling smart manufacturing systems: comparison and reflections for future developments. In *Product Lifecycle Management and the Industry of the Future: 14th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2017*, 14 (pp. 23-35). Springer International Publishing.
- [107] de Rezende, L. B., & Blackwell, P. (2019). Revisiting project complexity: a new dimension and framework. *The Journal of Modern Project Management*, 6(3).
- [108] Deb, P. P., Bhattacharya, D., Chatterjee, I., Saha, A., Mishra, A. R., & Ahammad, S. H. (2022). A decision-making model with intuitionistic fuzzy information for selection of enterprise resource planning systems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 4820-4834.
- [109] DeLone, W. H., & McLean, E. R. (2003). The DeLone and McLean model of information systems success: a ten-year update. *Journal of Management Information Systems*, 19(4), 9-30.
- [110] Deng, D., Wen, S., Chen, F. H., & Lin, S. L. (2018). A hybrid multiple criteria decision making model of sustainability performance evaluation for Taiwanese Certified Public Accountant firms. *Journal of Cleaner Production*, 180, 603-616.
- [111] Deng, H. (1999). Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison. *International Journal of Approximate Reasoning*, 21(3), 215-231.
- [112] Deng, J., & Bian, Y. (2008). Constructing a risk management mechanism model of ERP project implementation. In *2008 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering* (pp. 72-77). IEEE.
- [113] Dernoncourt, F. (2013). Introduction to fuzzy logic. *Massachusetts Institute of Technology*, 21.
- [114] Dhumras, H., & Bajaj, R. K. (2023). On assembly robotic design evaluation problem using enhanced quality function deployment with q-rung orthopair fuzzy set theoretic environment. *Journal of Information Science & Engineering*, 39(3).

- [115] Dinçer, H., & Yüksel, S. (2019). An integrated stochastic fuzzy MCDM approach to the balanced scorecard-based service evaluation. *Mathematics and Computers in Simulation*, 166, 93-112.
- [116] Dinçer, H., & Yüksel, S. (2019). Multidimensional evaluation of global investments on the renewable energy with the integrated fuzzy decision-making model under the hesitancy. *International Journal of Energy Research*, 43(5), 1775-1784.
- [117] Donoghue, I. D., Hannola, L. H., & Papinniemi, J. J. (2018). Product Lifecycle Management framework for business transformation. *LogForum*, 14(3).
- [118] Dooley, K. J., Subra, A., & Anderson, J. (2002). Adoption rates and patterns of best practices in new product development. *International Journal of Innovation Management*, 6(01), 85-103.
- [119] Dorfeshan, Y., Mousavi, S. M., Mohagheghi, V., & Vahdani, B. (2018). Selecting project-critical path by a new interval type-2 fuzzy decision methodology based on MULTIMOORA, MOOSRA and TPOP methods. *Computers & Industrial Engineering*, 120, 160-178.
- [120] dos Santos, D. S., Reis, D. A., & Fleury, A. L. (2020). Product Lifecycle Management (PLM): evolution and state of the art. *Product: Management and Development*, 18(1), 70-91.
- [121] DSDM Consortium (2014), *DSDM Agile Project Framework Handbook*, www.agilebusiness.org/dsdm-project-framework.html
- [122] Dunne, K. (2001). PDM implementation methodology. *RapidPDM Consortium (ESPRIT Project 26892) Documented Implementation Methodology, Including Implementation Planning Model*, D72-D73.
- [123] e Costa, C. A. B., & Vansnick, J. C. (1994). MACBETH—An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International Transactions in Operational Research*, 1(4), 489-500.
- [124] Eastham, J., Tucker, D. J., Varma, S., & Sutton, S. M. (2014). PLM software selection model for project management using hierarchical decision modeling with criteria from PMBOK® knowledge areas. *Engineering Management Journal*, 26(3), 13-24.
- [125] Echeveste, M. E. S., Rozenfeld, H., & Fettermann, D. D. C. (2017). Customizing practices based on the frequency of problems in new product development process. *Concurrent Engineering*, 25(3), 245-261.
- [126] Efe, B., & Efe, Ö. F. (2021). Quality function deployment based failure mode and effect analysis approach for risk evaluation. *Neural Computing and Applications*, 33, 10159-10174.
- [127] Efe, B., Yerlikaya, M. A., & Efe, Ö. F. (2020). Mobile phone selection based on a novel quality function deployment approach. *Soft Computing*, 24, 15447-15461.
- [128] EIA (1998). *Systems Engineering Capability Model (EIA/IS-731)*. Electronic Industries Alliance, Washington, DC.
- [129] Eigner, M. (2021). *System Lifecycle Management*. Springer Vieweg. Berlin, Heidelberg.
- [130] Eigner, M., Roubanov, D., & Zafirov, R. (Eds.). (2014). *Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung* (pp. 35-36). Springer. Berlin Heidelberg
- [131] El Kadiri, S., Pernelle, P., Delattre, M. A., & Bouras, A. (2009). Current situation of PLM systems in SME/SMI: Survey's results and analysis. In *Proceedings of 6th International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 06-08).
- [132] Elzamly, A., & Hussin, B. (2015). Modelling and evaluating software project risks with quantitative analysis techniques in planning software development. *Journal of Computing and Information Technology*, 23(2), 123-139.
- [133] Enríquez, J. G., Sánchez-Begínes, J. M., Domínguez-Mayo, F. J., García-García, J. A., & Escalona, M. J. (2019). An approach to characterize and evaluate the quality of Product Lifecycle Management software systems. *Computer Standards & Interfaces*, 61, 77-88.
- [134] EPIC & SEI (1997). *Integrated Product Development Capability Maturity Model, Draft Version 0.98*. Pittsburgh, PA: Enterprise Process Improvement Collaboration and Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University.
- [135] Erasmus, I. P., & Daneva, M. (2015). ERP services effort estimation strategies based on early requirements. In *2nd International Workshop on Requirements Engineering for the Precontract Phase, RE4P2 2015* (pp. 83-99). CEUR.
- [136] ErKayman, B., Khorshidi, M., & Usanmaz, B. (2018). An integrated fuzzy approach for ERP deployment strategy selection under conflicting criteria. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 32(3), 807-823.

- [137] Evanschitzky, H., Eisend, M., Calantone, R. J., & Jiang, Y. (2012). Success factors of product innovation: An updated meta-analysis. *Journal of Product Innovation Management*, 29, 21-37.
- [138] Fani, V., Falchi, C., Bindi, B., & Bandinelli, R. (2021). Implementation framework for PLM: a case study in the fashion industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-14.
- [139] Fernandez, C., & Vergara, J. (2021). Multi-criteria comparison of nuclear reactors using the MULTIMOORA method: A case of study for Chile. *Progress in Nuclear Energy*, 138, 103802.
- [140] Figge, F., Hahn, T., Schaltegger, S., & Wagner, M. (2002). The sustainability balanced scorecard—linking sustainability management to business strategy. *Business Strategy and the Environment*, 11(5), 269-284.
- [141] Fishburn, P. C. (1965). Independence in utility theory with whole product sets. *Operations Research*, 13(1), 28-45.
- [142] Fung, R. Y., Chen, Y., & Tang, J. (2006). Estimating the functional relationships for quality function deployment under uncertainties. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(1), 98-120.
- [143] Gabus, A., & Fontela, E. (1972). *World Problems, an Invitation to Further Thought Within the Framework of DEMATEL*. Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland, 1-8.
- [144] Gai, L., Liu, H. C., Wang, Y., & Xing, Y. (2023). Green supplier selection and order allocation using linguistic Z-numbers MULTIMOORA method and bi-objective non-linear programming. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 22(2), 267-288.
- [145] Galankashi, M. R., Helmi, S. A., & Hashemzahi, P. (2016). Supplier selection in automobile industry: A mixed balanced scorecard–fuzzy AHP approach. *Alexandria Engineering Journal*, 55(1), 93-100.
- [146] GAPPS, A. (2007). Framework for Performance based competency standards for global level 1 and 2 project managers. *Sydney: Global Alliance for Project Performance Standards*.
- [147] Garetti, M., Macchi, M., & Terzi, S. (2007). Product Lifecycle Management: state-of-the-art, trends and challenges. In *Advanced Manufacturing. An ICT and Systems Perspective* (pp. 47-60).
- [148] Garetti, M., Terzi, S., Bertacci, N., & Brianza, M. (2005). Organisational change and knowledge management in PLM implementation. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 1(1), 43-51.
- [149] Garg, P., & Khurana, R. (2017). Applying structural equation model to study the critical risks in ERP implementation in Indian retail. *Benchmarking: An International Journal*, 24(1), 143-162.
- [150] Geetha, S., Narayanamoorthy, S., Kang, D., & Kureethara, J. V. (2019). A novel assessment of healthcare waste disposal methods: intuitionistic hesitant fuzzy MULTIMOORA decision making approach. *IEEE Access*, 7, 130283-130299.
- [151] Ghannadpour, S. F., Hoseini, A. R., Bagherpour, M., & Ahmadi, E. (2021). Appraising the triple bottom line utility of sustainable project portfolio selection using a novel multi-criteria house of portfolio. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 3396-3437.
- [152] Ghorabae, M. K., Amiri, M., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2017). Multi-criteria group decision-making using an extended EDAS method with interval type-2 fuzzy sets. *Economics and Management*, 10, 48-68.
- [153] Girmscheid, G., & Brockmann, C. (2008). The inherent complexity of large scale engineering projects. *Project Perspectives*, 29, 22-26.
- [154] Gmelin, H., & Seuring, S. (2014). Achieving sustainable new product development by integrating product life-cycle management capabilities. *International Journal of Production Economics*, 154, 166-177.
- [155] Goharshenasan, A., Sheikh Aboumasoudi, A., Shahin, A., & Ansari, A. (2022). Prioritizing the economic indicators of SSC: an integrative QFD approach of performance prism and BSC. *Benchmarking: An International Journal*, 29(2), 522-550.
- [156] Golovatchev, J. D., Budde, O., & Hong, C. G. (2010). Integrated PLM-process-approach for the development and management of telecommunications products in a multi-lifecycle environment. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 19(3-4), 224-237.
- [157] Golovatchev, J., & Budde, O. (2015). PLM framework for the development and management smart energy products. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 698-707). Springer, Cham.

- [158] Gomes, L. F. A. M., & Lima, M. M. P. P. (1991). TODIMI: Basics and application to multicriteria ranking. *Found. Comput. Decis. Sci*, 16(3-4), 1-16.
- [159] Gong, Z. W. (2008). Least-square method to priority of the fuzzy preference relations with incomplete information. *International Journal of Approximate Reasoning*, 47(2), 258-264.
- [160] Goumas, M., & Lygerou, V. (2000). An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects. *European Journal of Operational Research*, 123(3), 606-613.
- [161] Grener, A., Ayvaz, B., Kuakc, A. O., & Altnok, E. (2017). A hybrid type-2 fuzzy based supplier performance evaluation methodology. *Applied Soft Computing*, 56(C), 436-445.
- [162] Grieves, M. (2006) *Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking*. The McGraw-Hill Companies. New York.
- [163] Gwangwava, N. (2018). Open Product Lifecycle Management (PLM) for cloud manufacturing and cloud-based maintenance integration using XML. In *E-Manufacturing and E-Service Strategies in Contemporary Organizations*, (pp. 270-307). IGI Global.
- [164] Habibi, A., Jahantigh, F. F., & Sarafrazi, A. (2015). Fuzzy Delphi technique for forecasting and screening items. *Asian Journal of Research in Business Economics and Management*, 5(2), 130-143.
- [165] Hafezalkotob, A., & Hafezalkotob, A. (2016). Fuzzy entropy-weighted MULTIMOORA method for materials selection. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 31(3), 1211-1226.
- [166] Hajkowicz, S. A., McDonald, G. T., & Smith, P. N. (2000). An evaluation of multiple objective decision support weighting techniques in natural resource management. *Journal of Environmental Planning and Management*, 43(4), 505-518.
- [167] Hakim, A., & Hakim, H. (2010). A practical model on controlling the ERP implementation risks. *Information Systems*, 35(2), 204-214.
- [168] Haktanır, E., & Kahraman, C. (2019). A novel interval-valued Pythagorean fuzzy QFD method and its application to solar photovoltaic technology development. *Computers & Industrial Engineering*, 132, 361-372.
- [169] Halachmi, A. (2005). Performance measurement is only one way of managing performance. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 54(7), 502-516.
- [170] Hamidi, H. (2018). A combined fuzzy method for evaluating criteria in enterprise resource planning implementation. In *Intelligent systems: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 639-670). IGI Global.
- [171] Hartono, B., Wijaya, D. F., & Arini, H. M. (2019). The impact of project risk management maturity on performance: Complexity as a moderating variable. *International Journal of Engineering Business Management*, 11, 1847979019855504.
- [172] Hashimoto, T., Stedinger, J. R., & Loucks, D. P. (1982). Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*, 18(1), 14-20.
- [173] Hauser, J. R., & Clausing, D. (1988) The house of quality. *Harvard Business Review*, 66(3).
- [174] He, L., Song, W., Wu, Z., Xu, Z., Zheng, M., & Ming, X. (2017). Quantification and integration of an improved Kano model into QFD based on multi-population adaptive genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 114, 183-194.
- [175] He, L., Wu, Z., Xiang, W., Goh, M., Xu, Z., Song, W., ... & Wu, X. (2021). A novel Kano-QFD-DEMATEL approach to optimise the risk resilience solution for sustainable supply chain. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1714-1735.
- [176] He, Q. H., Luo, L., Wang, J., Li, Y. K., & Zhao, L. (2012). Using analytic network process to analyze influencing factors of project complexity. In *2012 International Conference on Management Science & Engineering 19th Annual Conference Proceedings* (pp. 1781-1786). IEEE.
- [177] He, Q., Luo, L., Hu, Y., & Chan, A. P. (2015). Measuring the complexity of mega construction projects in China—A fuzzy analytic network process analysis. *International Journal of Project Management*, 33(3), 549-563.
- [178] Helfat, C. E., & Peteraf, M. A. (2003). The dynamic resource-based view: Capability lifecycles. *Strategic Management Journal*, 24(10), 997-1010.
- [179] Henard, D. H., & Szymanski, D. M. (2001). Why some new products are more successful than others. *Journal of Marketing Research*, 38(3), 362-375.

- [180] Henderson, J. C., & Venkatraman, H. (1999). Strategic alignment: Leveraging information technology for transforming organizations. *IBM Systems Journal*, 38(2.3), 472-484.
- [181] Hewett, A. (2010). Product Lifecycle Management (PLM): critical issues and challenges in implementation. *Information Technology and Product Development*, 81-105.
- [182] Hillier, F. S. (2000). Multi-method MCDM at BC gas. *Energy Decisions and Environment*, 179-205.
- [183] Ho, C. F., Hung, W. H., Wu, C. C., & Kung, K. H. (2011). Organizational adaption and implementation of Product Life Management system. *Thirty Second International Conference on Information Systems*, Shanghai.
- [184] Hojjati, S. N., & Noudehi, N. R. (2015). The use of Monte Carlo simulation in quantitative risk assessment of IT projects. *International Journal of Advanced Networking and Applications*, 7(1), 2616.
- [185] Holahan, P. J., Sullivan, Z. Z., & Markham, S. K. (2014). Product development as core competence: How formal product development practices differ for radical, more innovative, and incremental product innovations. *Journal of Product Innovation Management*, 31(2), 329-345.
- [186] Holler, M., Uebernickel, F., & Brenner, W. (2018). The evolution of IS projects in manufacturing industries: the case of Product Lifecycle Management. In *51st Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Waikoloa Village HI, USA, pp. 4867-4876.
- [187] Hsieh, M. Y., Hsu, Y. C., & Lin, C. T. (2018). Risk assessment in new software development projects at the front end: a fuzzy logic approach. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 9, 295-305.
- [188] Hu, Y., Zhang, X., Ngai, E. W. T., Cai, R., & Liu, M. (2013). Software project risk analysis using Bayesian networks with causality constraints. *Decision Support Systems*, 56, 439-449.
- [189] Huang, C., Lin, M., & Xu, Z. (2020). Pythagorean fuzzy MULTIMOORA method based on distance measure and score function: its application in multicriteria decision making process. *Knowledge and Information Systems*, 62, 4373-4406.
- [190] Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). Multiple attribute decision making: a state of the art survey. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 186(1).
- [191] Ic, Y. T., Yurdakul, M., & Dengiz, B. (2013). Development of a decision support system for robot selection. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(4), 142-157.
- [192] Ijadi Maghsoodi, A., Abouhamzeh, G., Khalilzadeh, M., & Zavadskas, E. K. (2018). Ranking and selecting the best performance appraisal method using the MULTIMOORA approach integrated Shannon's entropy. *Frontiers of Business Research in China*, 12, 1-21.
- [193] Immonen, A., & Saaksvuori, A. (2013). *Product Lifecycle Management*. Springer Science
- [194] ISG, *Creating Value and Outcomes with Digital Threads*, Information Services Group, Inc., dostupno na: isg-one.com
- [195] ISO (2018). *ISO 31000: Risk management:– Guidelines*. Geneva, Switzerland.
- [196] Jacob, M., & Erasmus, J. (2015). The drivers and factors influencing PLM adoption and selection. *September*.
- [197] Jafarnejad, A., Ansari, M., Youshanlouei, H. R., & Mood, M. (2012). A hybrid MCDM approach for solving the ERP system selection problem with application to steel industry. *International Journal of Enterprise Information Systems (IJEIS)*, 8(3), 54-73.
- [198] Jain, V. (2016). Conceptualising ERP systems' value as a multidimensional formative construct. *International Journal of Business Information Systems*, 21(4), 439-461.
- [199] Jaiswal, E. S. (2012). A case study on quality function deployment (QFD). *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 3(6), 27-35.
- [200] Jamporazmey, M., & Mehrafrouz, M. (2012). Designing an evaluation framework for knowledge management systems by using balanced scorecard. *International Journal of Business Information Systems*, 11(1), 110-125.
- [201] Jamshidi, A., Rahimi, S. A., Ait-kadi, D., Rebaiaia, M. L., & Ruiz, A. (2015). Risk assessment in ERP projects using an integrated method. In *2015 3rd International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT)* (pp. 1-5). IEEE.
- [202] Jeon, H. B., & Bang, G. D. (2011). PLM functions, value elements and ROI. *CDE Review*, 17, 48-54

- [203] Jeston, J. (2014). *Business process management: practical guidelines to successful implementations*. Routledge.
- [204] Ji, P., Jin, J., Wang, T., & Chen, Y. (2014). Quantification and integration of Kano's model into QFD for optimising product design. *International Journal of Production Research*, 52(21), 6335-6348.
- [205] Jia, G. Z., & Bai, M. (2011). An approach for manufacturing strategy development based on fuzzy-QFD. *Computers & Industrial Engineering*, 60(3), 445-454.
- [206] Jiménez-Zarco, A. I., Martínez-Ruiz, M. P., & González-Benito, Ó. (2006). Performance measurement system (PMS) integration into new product innovation: A literature review and conceptual framework. *Academy of Marketing Science Review*, 9(10), 1-16.
- [207] Joseph, N., & Marnewick, C. (2020). Clarifying IS project complexity through factor analysis. *The African Journal of Information Systems*, 12(2), 2.
- [208] Joseph, N., & Marnewick, C. (2021). Measuring information systems project complexity: A structural equation modelling approach. *Complexity*, 2021, 1-15.
- [209] Kahn, K. B., Barczak, G., & Moss, R. (2006). Perspective: Establishing an NPD best practices framework. *Journal of Product Innovation Management*, 23(2), 106-116.
- [210] Kahn, K. B., Barczak, G., Nicholas, J., Ledwith, A., & Perks, H. (2012). An examination of new product development best practice. *Journal of Product Innovation Management*, 29(2), 180-192.
- [211] Kahraman, C., Ertay, T., & Büyüközkan, G. (2006). A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach. *European Journal of Operational Research*, 171(2), 390-411.
- [212] Kahraman, C., Sari, İ. U., & Turanoğlu, E. (2012). Fuzzy analytic hierarchy process with type-2 fuzzy sets. In *Uncertainty Modeling in Knowledge Engineering and Decision Making* (pp. 201-206).
- [213] Kamfiroozi, H., & BonyadiNaeni, A. (2013). A hybrid grey-game-MCDM method for ERP selecting based on BSC. *International Journal of Management and Business Research*, 3(1), 13-20.
- [214] Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992). The balanced scorecard: measures that drive performance. *Harvard Business Review*, 71-79.
- [215] Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). Using the balanced scorecard as a strategic management system. *Harvard Business Review*, 75-85.
- [216] Karande, P., & Chakraborty, S. (2012). A Fuzzy-MOORA approach for ERP system selection. *Decision Science Letters*, 1(1), 11-21.
- [217] Kärkkäinen, H., Mylläriemi, J., Okkonen, J., & Silventoinen, A. (2009). Assessing maturity requirements for implementing and using Product Lifecycle Management. In *The 9th International Conference on Electronic Business*, Macau (pp. 669-678).
- [218] Kärkkäinen, H., Pels, H. J., & Silventoinen, A. (2012). Defining the customer dimension of PLM maturity. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 623-634). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [219] Kartika, A. D., & Surendro, K. (2016). A fuzzy-based methodology to assess software usability risk. In *2016 4th International Conference on Information and Communication Technology*.
- [220] Kaur, P., & Chakraborty, S. (2007). A new approach to vendor selection problem with impact factor as an indirect measure of quality. *Journal of Modern Mathematics and Statistics*, 1, 8-14.
- [221] Keeney, R., & Raiffa, H. (1976). *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. New York: John Wiley & Sons.
- [222] Keil, M., Lee, H. K., & Deng, T. (2013). Understanding the most critical skills for managing IT projects: A Delphi study of IT project managers. *Information & Management*, 50(7), 398-414.
- [223] Keil, M., Tiwana, A., & Bush, A. (2002). Reconciling user and project manager perceptions of IT project risk: a Delphi study 1. *Information Systems Journal*, 12(2), 103-119.
- [224] Kermanshachi, S., Dao, B., Rouhanizadeh, B., Shane, J., & Anderson, S. (2020). Development of the project complexity assessment and management framework for heavy industrial projects. *International Journal of Construction Education and Research*, 16(1), 24-42.
- [225] Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243-258.

- [226] Keshavarz Ghorabae, M., Zavadskas, E. K., Olfat, L. and Turskis, Z. (2015). Multi-criteria inventory classification using a new method of Evaluation based on Distance from Average Solution (EDAS). *Informatica*, 26(3), 435-451.
- [227] Kevan, T. (2020). Digital Twin drives PLM evolution. *Digital Engineering: Technology for Optimal Engineering Design*, 2020 (33-37)
- [228] Khalili, J., & Alinezhad, A. (2018). Performance evaluation in green supply chain using BSC, DEA and data mining. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(2), 182-191.
- [229] Kilic, H. S., Zaim, S., & Delen, D. (2015). Selecting The Best ERP system for SMEs using a combination of ANP and PROMETHEE methods. *Expert Systems with Applications*, 42, 2343-2352.
- [230] Kim, S. Y., Nguyen, M. V., & Dao, T. T. (2021). Prioritizing complexity using fuzzy DANP: Case study of international development projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(4), 1114-1133.
- [231] Kiritsis, D. (2011). Closed-loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things. *Computer-Aided Design*, 43(5), 479-501.
- [232] Kirkham, F. J., & Hogan, A. M. (2004). Risk factors for arterial ischemic stroke in childhood. *CNS Spectrums*, 9(6), 451-464.
- [233] Knudsen, M. P., Von Zedtwitz, M., Griffin, A., & Barczak, G. (2023). Best practices in new product development and innovation: Results from PDMA's 2021 global survey. *Journal of Product Innovation Management*, 40(3), 257-275.
- [234] Koomen, B. (2018). PLM in SME, what are we missing? An alternative view on PLM implementation for SME. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 681-691). Springer. Cham.
- [235] Kotb, M. T., Haddara, M., & Kotb, Y. T. (2011). Back-propagation artificial neural network for ERP adoption cost estimation. In *ENTERprise Information Systems: International Conference, CENTERIS 2011, Vilamoura, Portugal, Proceedings, Part II* (pp. 180-187). Springer Berlin Heidelberg.
- [236] Kronbichler, S. A., Ostermann, H., & Staudinger, R. (2010). A comparison of ERP-success measurement approaches. *Journal of Information Systems and Technology Management*, 7, 281-310.
- [237] Kumar, V., Maheshwari, B., & Kumar, U. (2003). An investigation of critical management issues in ERP implementation: empirical evidence from Canadian organizations. *Technovation*, 23(10), 793-807.
- [238] Kürüm Varolgüneş, F., Canan, F., del Río-Rama, M. D. L. C., & Oliveira, C. (2021). Design of a thermal hotel based on AHP-QFD Methodology. *Water*, 13(15), 2109.
- [239] Lahdelma, R., Hokkanen, J., & Salminen, P. (1998). SMAA-stochastic multiobjective acceptability analysis. *European Journal of Operational Research*, 106(1), 137-143.
- [240] Lämmer, L., & Theiss, M. (2015). Product Lifecycle Management. *Concurrent Engineering in the 21st Century: Foundations, Developments and Challenges*, 455-490.
- [241] Larichev, O. 2000. *Decision-Making Theory and Methods*. Moscow: Logos.
- [242] Le Duigou, J., Bernard, A., & Perry, N. (2011). Framework for product lifecycle management integration in small and medium enterprises networks. *Computer-Aided Design and Applications*, 8(4), 531-544
- [243] Lee, A. H., Chen, S. C., & Kang, H. Y. (2020). A decision-making framework for evaluating enterprise resource planning systems in a high-tech industry. *Quality Technology & Quantitative Management*, 17(3), 319-336.
- [244] Lee, S. G., Ma, Y. S., Thimm, G. L., & Verstraeten, J. (2008). Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. *Computers in Industry*, 59(2-3), 296-303.
- [245] Lee, Y. C., Sheu, L. C., & Tsou, Y. G. (2008a). Quality function deployment implementation based on Fuzzy Kano model: An application in PLM system. *Computers & Industrial Engineering*, 55(1), 48-63.
- [246] Lee, Y. C., Tang, N. H., & Sugumaran, V. (2014). Open source CRM software selection using the analytic hierarchy process. *Information Systems Management*, 31(1), 2-20.
- [247] Leeder, N. (2018) *PLMPulse Survey - Edition 2017*. i42R: Utrecht.

- [248] Levine, A. (1980). *Why Innovation Fails*. SUNY Press.
- [249] Li, H., Lv, L., Li, F., Wang, L., & Xia, Q. (2020). A novel approach to emergency risk assessment using FMEA with extended MULTIMOORA method under interval-valued Pythagorean fuzzy environment. *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics*, 13(1), 41-65.
- [250] Li, W., Yüksel, S., & Dinçer, H. (2022). Understanding the financial innovation priorities for renewable energy investors via QFD-based picture fuzzy and rough numbers. *Financial Innovation*, 8(1), 1-30.
- [251] Liao, H., Qin, R., Gao, C., Wu, X., Hafezalkotob, A., & Herrera, F. (2019). Score-HeDLiSF: A score function of hesitant fuzzy linguistic term set based on hesitant degrees and linguistic scale functions: An application to unbalanced hesitant fuzzy linguistic MULTIMOORA. *Information Fusion*, 48, 39-54.
- [252] Lindholm, D., Lindbäck, J., Armstrong, P. W., Budaj, A., Cannon, C. P., Granger, C. B., ... & Wallentin, L. (2017). Biomarker-based risk model to predict cardiovascular mortality in patients with stable coronary disease. *Journal of the American College of Cardiology*, 70(7), 813-826.
- [253] Liu, A., Xiao, Y., Ji, X., Wang, K., Tsai, S. B., Lu, H., ... & Wang, J. (2018). A novel two-stage integrated model for supplier selection of green fresh product. *Sustainability*, 10(7), 2371.
- [254] Liu, H. C., Shi, H., Li, Z., & Duan, C. Y. (2022). An integrated behavior decision-making approach for large group quality function deployment. *Information Sciences*, 582, 334-348.
- [255] Liu, H. C., Yang, M., Zhou, M., & Tian, G. (2018). An integrated multi-criteria decision making approach to location planning of electric vehicle charging stations. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(1), 362-373.
- [256] Liu, S., Zhang, J., Keil, M., & Chen, T. (2010). Comparing senior executive and project manager perceptions of IT project risk: a Chinese Delphi study. *Information Systems Journal*, 20(4), 319-355.
- [257] Loch, C. (2008). *Handbook of New Product Development Management*. Routledge.
- [258] Lopez, J. (2021). *Bill of Materials (BOM) as a foundation for PLM ERP MES Integration*, Prostep Inc. (доступно на: <https://prostep.us>)
- [259] Lu, Y., Luo, L., Wang, H., Le, Y., & Shi, Q. (2015). Measurement model of project complexity for large-scale projects from task and organization perspective. *International Journal of Project Management*, 33(3), 610-622.
- [260] Ma, Y. & Fuh, J. (2008) Product lifecycle modelling, analysis and management. *Computers in Industry* 59(2–3): 107–109.
- [261] Ma, Z., Shao, C., Ma, S., & Ye, Z. (2011). Constructing road safety performance indicators using fuzzy delphi method and grey delphi method. *Expert Systems With Applications*, 38(3), 1509-1514.
- [262] MacCrimmon, K. R. (1968). *Decisionmaking Among Multiple-Attribute Alternatives: A Survey and Consolidated Approach*. Rand Corp Santa Monica Ca.
- [263] Madill, K. (1999). AS/NZS 4360: 1999 *Risk Management*. Standards Association Australia, Sydney.
- [264] Mahajan, V., & Wind, Y. (1988). New product forecasting models: Directions for research and implementation. *International Journal of Forecasting*, 4(3), 341-358.
- [265] Maheshwari, B., Kumar, V., & Kumar, U. (2010). Delineating the ERP institutionalization process: go-live to effectiveness. *Business Process Management Journal*, 16(4), 744-771.
- [266] Mao, L. X., Liu, R., Mou, X., & Liu, H. C. (2021). New approach for quality function deployment using linguistic Z-numbers and EDAS method. *Informatica*, 32(3), 565-582.
- [267] Marcos, A. F., Rouyet, J. I., & Bosch, A. (2012). An IT Balance Scorecard design under service management philosophy. In *2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 4972-4981). IEEE.
- [268] Mareschal, B., & Brans, J. P. (1988). Geometrical representations for MCDA. *European Journal of Operational Research*, 34(1), 69-77.
- [269] Markham, S. K., & Lee, H. (2013). Product Development and Management Association's 2012 comparative performance assessment study. *Journal of Product Innovation Management*, 30(3), 408-429.
- [270] Markus, M. L., & Tanis, C. (2000). The enterprise systems experience-from adoption to success. *Framing the Domains of IT Research: Glimpsing the Future through the Past*, 207-173.

- [271] Marle, F., & Vidal, L. A. (2016). *Managing complex, high risk projects: A guide to basic and advanced project management*. Springer.
- [272] Marle, F., Vidal, L. A., & Bocquet, J. C. (2013). Interactions-based risk clustering methodologies and algorithms for complex project management. *International Journal of Production Economics*, 142(2), 225-234.
- [273] Marra, M., Di Biccari, C., Lazoi, M., & Corallo, A. (2017). A gap analysis methodology for Product Lifecycle Management assessment. *Transactions on Engineering Management*, 65(1), 155-167.
- [274] Marzi, G., Ciampi, F., Dalli, D., & Dabic, M. (2020). New product development during the last ten years: The ongoing debate and future avenues. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 68(1), 330-344.
- [275] Matarazzo, B. (1986). Multicriterion analysis of preferences by means of pairwise actions and criterion comparisons (MAPPACC). *Applied Mathematics and Computation*, 18(2), 119-141.
- [276] Maylor, H. R., Turner, N. W., & Murray-Webster, R. (2013). How hard can it be?: Actively managing complexity in technology projects. *Research-Technology Management*, 56(4), 45-51.
- [277] Maylor, H., & Turner, N. (2017). Understand, reduce, respond: project complexity management theory and practice. *International Journal of Operations & Production Management*, 37, 1076-1093.
- [278] McQuater, R. E., Peters, A. J., Dale, B. G., Spring, M., Rogerson, J. H., & Rooney, E. M. (1998). The management and organisational context of new product development: Diagnosis and self-assessment. *International Journal of Production Economics*, 55(2), 121-131.
- [279] Mendel, J. M., & John, R. B. (2002). Type-2 fuzzy sets made simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10(2), 117-127.
- [280] Mendel, J. M., John, R. I., & Liu, F. (2006). Interval type-2 fuzzy logic systems made simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 14(6), 808-821.
- [281] Menezes, J., Gusmão, C., & Moura, H. (2019). Risk factors in software development projects: a systematic literature review. *Software Quality Journal*, 27, 1149-1174.
- [282] Mettler, T. (2011). Maturity assessment models: a design science research approach. *International Journal of Society Systems Science*, 3(1-2), 81-98.
- [283] Méxas, M. P., Quelhas, O. L. G., & Costa, H. G. (2012). Prioritization criteria for enterprise resource planning systems selection for civil construction companies: a multicriteria approach. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 39(8), 855-866.
- [284] Mican, C., Fernandes, G., Araújo, M., & Ares, E. (2021). Project portfolio risk assessment in digital transformation: challenges and opportunities. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (p. 012111). IOP Publishing.
- [285] Mikhailov, L. (2000). A fuzzy programming method for deriving priorities in the analytic hierarchy process. *Journal of the Operational Research Society*, 51(3), 341-349.
- [286] Mikhailov, L. (2003). Deriving priorities from fuzzy pairwise comparison judgements. *Fuzzy Sets and Systems*, 134(3), 365-385.
- [287] Mingjing, Z.H.A.N.G., Qinghua, W.A.N.G., Xinnong, M.O., & Li, Z. (2010). A novel evaluation model on PLM benefit. *Korean CDE Society International Conference Paper Collection*, 288-295.
- [288] Mirhosseini, S. S., Ramezani, M., Khazaei, M., & Azar, A. (2021). Exploring and analysing the risks and challenges of implementing ERP systems: critical system thinking. *International Journal of Information Systems and Change Management*, 12(3), 234-258.
- [289] Mishra, A. R., Saha, A., Rani, P., Hezam, I. M., Shrivastava, R., & Smarandache, F. (2022). An integrated decision support framework using single-valued-MEREC-MULTIMOORA for low carbon tourism strategy assessment. *IEEE Access*, 10, 24411-24432.
- [290] Miyamoto, S. (2000). Fuzzy multisets and their generalizations. In *Workshop on Membrane Computing* (pp. 225-235). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [291] Mohammadi, A. (2016). Selection of the most appropriate marketing competitive strategy with combining Sustainable Balanced Scorecard (SBSC) and multiple criteria decision making (MCDM). *IIOABJ*, 7(5), 269-283.
- [292] Monczka, R. M., Handfield, R. B., Giunipero, L. C., Patterson, J. L. & Waters, D. (2010). *Purchasing and supply chain management*. Hampshire, UK: Cengage Learning EMEA

- [293] Morcov, S., Pintelon, L., & Kusters, R. J. (2020). Definitions, characteristics and measures of IT project complexity-a systematic literature review. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 8(2), 5-21.
- [294] Munda, G. (1995). Multicriteria evaluation in a fuzzy environment: The Naiade method. In *Multicriteria Evaluation in a Fuzzy Environment* (pp. 131-148). Physica-Verlag HD.
- [295] Mutikanga, H. E. (2012). Water loss management: tools and methods for developing countries. *UNESCO-IHE Institute for Water Education*, Delft.
- [296] Myung, S. (2016). Master data management in PLM for the enterprise scope. In *Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things: 12th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2015*, Doha, Qatar, 12 (pp. 771-779). Springer International Publishing.
- [297] Nakatsu, R. T., & Iacovou, C. L. (2009). A comparative study of important risk factors involved in offshore and domestic outsourcing of software development projects: A two-panel Delphi study. *Information & Management*, 46(1), 57-68.
- [298] Nguyen, A. T., Nguyen, L. D., Le-Hoai, L., & Dang, C. N. (2015). Quantifying the complexity of transportation projects using the fuzzy analytic hierarchy process. *International Journal of Project Management*, 33(6), 1364-1376.
- [299] Nguyen, L. D., Le-Hoai, L., Tran, D. Q., Dang, C. N., & Nguyen, C. V. (2018). Fuzzy AHP with applications in evaluating construction project complexity. In *Fuzzy Hybrid Computing in Construction Engineering and Management: Theory and Applications* (pp. 277-299). Emerald Publishing Limited.
- [300] Nicholas, J., Ledwith, A., & Perks, H. (2011). New product development best practice in SME and large organisations. *European Journal of Innovation Management*, 14, 227-251.
- [301] Nie, R. X., Tian, Z. P., Kwai Sang, C., & Wang, J. Q. (2022). Implementing healthcare service quality enhancement using a cloud-support QFD model integrated with TODIM method and linguistic distribution assessments. *Journal of the Operational Research Society*, 73(2), 207-229.
- [302] Nigam, M. K., Avikal, S., & Ram, M. (2021). Risk assessment in ERP project by COPRAS method under fuzzy environment. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 28(06).
- [303] Nijkamp, P., & Vreeker, R. (2000). Sustainability assessment of development scenarios: methodology and application to Thailand. *Ecological Economics*, 33(1), 7-27.
- [304] Nikolic, M., & Ceric, A. (2022). Classification of key elements of construction project complexity from the contractor perspective. *Buildings*, 12(5), 696.
- [305] Noori, B. (2015). Prioritizing strategic business units in the face of innovation performance. *International Journal of Business and Management*, 3(1), 36-56.
- [306] NSF (2014). *Business R&D and Innovation Survey*. Washington, DC: National Center for Science and Engineering Statistics and US Census Bureau
- [307] Oliveira, D., Gardoni, M., & Dalkir, K. (2021). A closer look at concept map collaborative creation in Product Lifecycle Management. In *Handbook of Research on Organizational Culture Strategies for Effective Knowledge Management and Performance* (pp. 260-282). IGI Global.
- [308] Omerali, M., & Kaya, T. (2022). Product Lifecycle Management application selection framework based on interval-valued spherical fuzzy COPRAS. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 1-14.
- [309] Onar, S. Ç., Büyüközkan, G., Öztaysi, B. & Kahraman, C. (2016). A new hesitant fuzzy QFD approach: application to computer workstation selection. *Applied Soft Computing*, 46, 1 -16.
- [310] Opricovic, S. (1998). *Multicriteria Optimization of Civil Engineering Systems*, Faculty of Civil Engineering, Belgrade.
- [311] Oztaysi, B. (2015). A Group Decision Making Approach Using Interval Type-2 Fuzzy AHP for Enterprise Information Systems Project Selection. *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, 24, 475-500.
- [312] Panizzolo, R., Biazzo, S., & Garengo, P. (2010). New product development assessment: towards a normative-contingent audit. *Benchmarking: An International Journal*, 17(2), 173-194.
- [313] Papic, M. (2016). A combined multi-criteria approach of soil quality analysis. *Romanian Journal of Physics*, 61(9-10), 1577-1590.
- [314] Pather, S. (2017). Contextualising information systems evaluation research: Towards a classification of approaches. In *The European Conference on Information Systems Management* (pp. 252-261). Academic Conferences International Limited.

- [315] Pawar, K. S., Thoben, K. D., & Oehlmann, R. (1995). The development of a conceptual model and a knowledge platform for concurrent engineering. In *Proceedings Concurrent Engineering Conference, Johnstown, PA, USA*.
- [316] Peng, D. X., Schroeder, R. G., & Shah, R. (2008). Linking routines to operations capabilities: A new perspective. *Journal of Operations Management*, 26(6), 730-748.
- [317] Peng, H. G., & Wang, J. Q. (2018). A multicriteria group decision-making method based on the normal cloud model with Zadeh's Z-numbers. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(6), 3246-3260.
- [318] Perkins, M., Grey, A., & Remmers, H. (2014). What do we really mean by "Balanced Scorecard"? *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(2), 148-169.
- [319] Petrovic, T., Vesic Vasovic, J., Komatina, N., Tadic, D., Klipa, Dj., & Djuric, G. (2022). A two-stage model based on EFQM, FBWM, and FMOORA for business excellence evaluation in the process of Manufacturing. *Axioms*, 11(12), 704.
- [320] Pfouga, A., & Stjepandić, J. (2018). Leveraging 3D geometric knowledge in the product lifecycle based on industrial standards. *Journal of Computational Design and Engineering*, 5(1), 54-67.
- [321] Pinna, C., Galati, F., Rossi, M., Saidy, C., Harik, R., & Terzi, S. (2018). Effect of product lifecycle management on new product development performances: Evidence from the food industry. *Computers in Industry*, 100, 184-195.
- [322] Pinna, C., Plo, L., Robin, V., Girard, P., & Terzi, S. (2017). An approach to improve implementation of PLM solution in food industry-case study of Poult Group. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 10(2), 151-170.
- [323] Plo, L., Robin, V., & Girard, P. (2016). Understanding PLM system concepts to facilitate its implementation in SME: the real case study of POULT. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 512-522). Springer, Cham.
- [324] PMI (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Project Management Institute, Inc., Newtown Square, PA USA.
- [325] Polatidis, H., Haralambopoulos, D. A., Munda, G., & Vreeker, R. (2006). Selecting an appropriate multi-criteria decision analysis technique for renewable energy planning. *Energy Sources*, 1(2), 181-193.
- [326] Poveda-Bautista, R., Diego-Mas, J. A., & Leon-Medina, D. (2018). Measuring the project management complexity: The case of information technology projects. *Complexity*, 2018.
- [327] Puzovic, S., Vesic Vasovic, J. & Paunovic V. (2024). PLM education: The state of the art and future trends. *Proceedings on 10th International Scientific Conference Technics, Informatics and Education 2024 (TIE 2024)*, 284-292.
- [328] Puzovic, S., Vesic Vasovic, J. & Paunovic, V. (2021) Digital twin technologies as an enabler of the next level of PLM evolution. *Proceedings on 38th International Conference on Production Engineering 2021 (ICPE S2021)*, 321-328.
- [329] Puzovic, S., Vesic Vasovic, J. & Paunovic, V. (2022) An approach to new product concept selection decision-making. *Proceedings on the 8th International conference on Industrial Engineering (SIE 2022)*, 258-262.
- [330] Puzović, S., Vesić Vasović, J. & Paunović, V., (2020). Project evaluation criteria prioritization by using a type-2 fuzzy MCDM model. *Proceedings on the XIV Balkan Conference on Operational Research (BALCOR 2020)*, 209-213
- [331] Puzović, S., Vesić Vasović, J., & Paunovic, V. (2022). PLM Education: The role of engineering management study programs. *Proceedings on the 9th International scientific conference Technics and Informatics in Education 2022 (TIE 2022)*, 364-370.
- [332] Puzovic, S., Vesic Vasovic, J., Milanovic, D. D., & Paunovic, V. (2023). A hybrid fuzzy MCDM approach to open innovation partner evaluation. *Mathematics*, 11(14), 3168.
- [333] Puzovic, S., Vesic Vasovic, J., Paunovic, V., Nesic, Z. & Dragasevic, A. (2019) Analysis of the Serbia's innovation profile. *Proceedings on Engineering Sciences (PES)*, 1(2), 911-918.
- [334] Puzovic, S., Vesic Vasovic, J., Radojicic, M., & Paunovic, V. (2019). An integrated MCDM approach to PLM software selection. *Acta Polytechnica Hungarica*, 16(4), 45-65.

- [335] Puzovic, S., Vesic Vasovic, J., Tadic, D., Milanovic, D. D. (2025). An integrated new product development evaluation model in an interval type 2 fuzzy environment for PLM strategy setting, *Applied Sciences*, 15(9), 5025.
- [336] Puzović, S., Vesić, V. J., Paunović, V., & Nešić, Z. (2019). A MCDM approach to assessing NPD problems. *Journal of Engineering Management and Competitiveness (JEMC)*, 9(1), 38-47.
- [337] Qin, J., & Ma, X. (2022). An IT2FS-PT3 based emergency response plan evaluation with MULTIMOORA method in group decision making. *Applied Soft Computing*, 122, 108812.
- [338] Qureshi, S. M., & Kang, C. (2015). Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling. *International Journal of Project Management*, 33, 165-176.
- [339] Rachuri, S., Subrahmanian, E., Bouras, A., Fenves, S. J., Foufou, S., & Sriram, R. D. (2008). Information sharing and exchange in the context of Product Lifecycle Management: Role of standards. *Computer-Aided Design*, 40(7), 789-800.
- [340] Радојић М., Весић Васовић Ј. (2011) *Индустријски менаџмент*, Технички факултет Чачак.
- [341] Radojicic M., Vesic Vasovic J., Nesic Z. (2013) *Application of optimization methods in the function of improving performance of organizational systems*, Faculty of Technical Sciences Čačak.
- [342] Radojicic, M., Zizovic, M., Nesic, Z., & Vesic Vasovic, J. V. (2013). Modified approach to PROMETHEE for multi-criteria decision-making. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 7(3), 408.
- [343] Ragowsky, A., Somers, T. M., & Adams, D. A. (2005). Assessing the value provided by ERP applications through organizational activities. *Communications of the Association for Information Systems*, 16(1), 18.
- [344] Raju, K. S.; Kumar, D. M. 2013. *Multicriterion Analysis in Engineering and Management*. Kindle edition. PHI Learning Private Limited.
- [345] Rani, P., Mishra, A. R., Krishankumar, R., Ravichandran, K. S., & Kar, S. (2021). Multi-criteria food waste treatment method selection using single-valued neutrosophic-CRITIC-MULTIMOORA framework. *Applied Soft Computing*, 111, 107657.
- [346] Rdjouat, Y., Bahsani, S., Lakhdi, M., & Semma, A. (2015). Measuring and improving information systems agility through the balanced scorecard approach. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 12(5), 58.
- [347] Rezaei, J., & Ortt, R. (2013). Multi-criteria supplier segmentation using a fuzzy preference relations based AHP. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 75-84.
- [348] Riaz, M., Farid, H. M. A., Shakeel, H. M., & Almalki, Y. (2022). Modernizing energy efficiency improvement with q-rung orthopair fuzzy MULTIMOORA approach. *IEEE Access*, 10, 74931-74947.
- [349] Ribbers, P. M., & Schoo, K. C. (2002). Program management and complexity of ERP implementations. *Engineering Management Journal*, 14(2), 45-52.
- [350] Rodríguez Montequín, V., Villanueva Balsera, J., Cousillas Fernández, S. M., & Ortega Fernández, F. (2018). Exploring project complexity through project failure factors: Analysis of cluster patterns using self-organizing maps. *Complexity*, 2018.
- [351] Rossi, M., & Terzi, S. (2017). CLIMB: maturity assessment model for design and engineering processes. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 10(1), 20-43.
- [352] Rossi, M., Kerga, E. T., Taisch, M., & Terzi, S. (2011). Proposal of a method to systematically identify wastes in new product development process. In *2011 17th International Conference on Concurrent Enterprising* (pp. 1-9). IEEE.
- [353] Rossi, M., Taisch, M., & Terzi, S. (2012). Lean product development: a five-steps methodology for continuous improvement. In *2012 18th International ICE Conference on Engineering, Technology and Innovation* (pp. 1-10). IEEE.
- [354] Roubens, M. (1982). Preference relations on actions and criteria in multicriteria decision making. *European Journal of Operational Research*, 10(1), 51-55.
- [355] Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples. *Revue Française D'informatique et de Recherche Opérationnelle*, 2(8), 57-75.
- [356] Saatçioğlu, Ö. Y. (2009). What determines user satisfaction in ERP projects: benefits, barriers or risks?. *Journal of Enterprise Information Management*, 22(6), 690-708.
- [357] Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*, New York, NY: McGraw-Hill.

- [358] Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (1984). Comparison of eigenvalue, logarithmic least squares and least squares methods in estimating ratios. *Mathematical Modelling*, 5(5), 309-324.
- [359] Sahu, A. K., Sahu, N. K., & Sahu, A. K. (2016). Application of modified MULTI-MOORA for CNC machine tool evaluation in IVGTFNS environment: an empirical study. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology*, 8(3), 234-259.
- [360] Salmeron, J. L., & Lopez, C. (2010). A multicriteria approach for risks assessment in ERP maintenance. *Journal of Systems and Software*, 83(10), 1941-1953.
- [361] Sangaiah, A. K., Samuel, O. W., Li, X., Abdel-Basset, M., & Wang, H. (2018). Towards an efficient risk assessment in software projects–Fuzzy reinforcement paradigm. *Computers & Electrical Engineering*, 71, 833-846.
- [362] Sassanelli, C., Rossi, M., & Terzi, S. (2020). Evaluating the smart maturity of manufacturing companies along the product development process to set a PLM project roadmap. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 12(3), 185-209.
- [363] Sato, T., & Hirao, M. (2013). Optimum budget allocation method for projects with critical risks. *International Journal of Project Management*, 31(1), 126-135.
- [364] Savino, M. M., Mazza, A., & Ouzrout, Y. (2012). PLM maturity model: a multi-criteria assessment in southern Italy companies. *International Journal of Operations and Quantitative Management*, 18(3), 159-180.
- [365] Schuh, G., Rozenfeld, H., Assmus, D., & Zancul, E. (2008). Process oriented framework to support PLM implementation. *Computers in Industry*, 59(2-3), 210-218.
- [366] Schwalbe, K. (2014). Information technology project management 7th. *Course Technology, Cengage Learning*, 440-446
- [367] SEI (1997). *Software CMM, Version 2.0 (Draft C)*. Software Engineering Institute.
- [368] Shafiei-Monfared, S., & Jenab, K. (2012). A novel approach for complexity measure analysis in design projects. *Journal of Engineering Design*, 23(3), 185-194.
- [369] Shanker, M., Jaya, J., & Thanushkodi, K. (2015). An effective approach to software cost estimation based on soft computing techniques. *International Arab Journal of Information Technology*, 12.
- [370] Shen, X. X., Tan, K. C., & Xie, M. (2001). The implementation of quality function deployment based on linguistic data. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 12, 65-75.
- [371] Shen, Y. C., Chen, P. S., & Wang, C. H. (2016). A study of enterprise resource planning (ERP) system performance measurement using the quantitative balanced scorecard approach. *Computers in Industry*, 75, 127-139.
- [372] Shi, H., Mao, L. X., Li, K., Wang, X. H., & Liu, H. C. (2022). Engineering characteristics prioritization in quality function deployment using an improved ORESTE method with double hierarchy hesitant linguistic information. *Sustainability*, 14(15), 9771.
- [373] Shukla, S., Mishra, P. K., Jain, R., & Yadav, H. C. (2016). An integrated decision making approach for ERP system selection using SWARA and PROMETHEE method. *International Journal of Intelligent Enterprise*, 3(2), 120-147.
- [374] Siddiqui, Z. A., & Haroon, M. (2023). Research on significant factors affecting adoption of blockchain technology for enterprise distributed applications based on integrated MCDM FCEM-MULTIMOORA-FG method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 118, 105699.
- [375] Silventoinen, A., Papinniemi, J., & Lampela, H. (2009). A roadmap for Product Lifecycle Management implementation in SMEs. In *ISPIM Conference* (p. 21).
- [376] Silventoinen, A., Pels, H. J., Kärkkäinen, H., Lampela, H., & Okkonen, J. (2010). PLM maturity assessment as a tool for PLM implementation process. In *PLM10 Conference* (pp.369-379) Bremen, Germany.
- [377] Singh, S., & Misra, C. (2019). Identification of barriers to PLM institutionalization in large manufacturing organizations: A case study. *Business Process Management Journal*, 25, 1335-1356.
- [378] Singh, S., & Misra, S. C. (2018). Core challenges to cloud PLM adoption in large manufacturing firms. In *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications* (pp. 141-145). IEEE.
- [379] Singh, S., Misra, S. C., & Chan, F. T. (2020). Establishment of critical success factors for implementation of Product Lifecycle Management systems. *International Journal of Production Research*, 58(4), 997-1016.

- [380] Singh, S., Misra, S. C., & Kumar, S. (2020). Identification and ranking of the risk factors involved in PLM implementation. *International Journal of Production Economics*, 222, 107496.
- [381] Singh, S., Misra, S. C., & Kumar, S. (2021). Institutionalization of Product Lifecycle Management in manufacturing firms. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- [382] Singh, S., Mittal, A., & Misra, S. C. (2023). Quantifying the implementation risks of Product Lifecycle Management for improved digitalization. In *2023 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS)* (pp. 189-194). IEEE.
- [383] Sipayung, J. J. P., & Sembiring, J. (2015). Risk assessment model of application development using Bayesian Network and Boehm's Software Risk Principles. In *2015 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)* (pp. 1-5). IEEE.
- [384] Sjoerdsma, M., & van Weele, A. J. (2015). Managing supplier relationships in a new product development context. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 21(3), 192-203.
- [385] Song, B., Zhang, J., & Li, P. (2006). Enterprise information systems evaluation. In *2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (Vol. 5, pp. 4057-4060). IEEE.
- [386] Song, X., & Letch, N. (2012). Research on IT/IS evaluation: a 25 year review. *Electronic Journal of Information Systems Evaluation*, 15(3), pp276-287.
- [387] Song, Y., & Su, Q. (2015). The relationship between quality management and new product development: evidence from China. *Operations Management Research*, 8, 1-14.
- [388] Soto-Acosta, P., Placer-Maruri, E. & Perez-Gonzalez, D. (2016) A case analysis of a product lifecycle information management framework for SMES. *International Journal of Information Management*, 36(2), pp. 240–244.
- [389] Srinivasan, V., & Shocker, A. D. (1973). Linear programming techniques for multidimensional analysis of preferences. *Psychometrika*, 38(3), 337-369.
- [390] Stackpole, B. (2003). There's a New App in Town: PLM aims to streamline product development and boost innovation in manufacturing. *CIO-FRAMINGHAM MA*-, 16(15), 92-98.
- [391] Stark, J. (2007). *Global Product: Strategy, Product Lifecycle Management and the Billion Customer Question*. Springer Science & Business Media.
- [392] Stark, J. (2015). *Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation*. Springer. London.
- [393] Stefanou, C. J. (2001). A framework for the ex-ante evaluation of ERP software. *European Journal of Information Systems*, 10(4), 204-215.
- [394] Stensrud, E. (2001). Alternative approaches to effort prediction of ERP projects. *Information and Software Technology*, 43(7), 413-423.
- [395] Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COMpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140.
- [396] Stewart, T. J., & Durbach, I. (2016). Dealing with uncertainties in MCDA. In *Multiple Criteria Decision Analysis* (pp. 467-496). Springer, New York, NY.
- [397] Sun, C. C. (2010). A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods. *Expert Systems with Applications*, 37(12), 7745-7754.
- [398] Suresh, K., & Dillibabu, R. (2020). A novel fuzzy mechanism for risk assessment in software projects. *Soft Computing*, 24(3), 1683-1705.
- [399] Tafvizi Zavareh, M., & Eigner, M. (2021). Determination of engineering digitalization maturity. *Proceedings of the Design Society*, 1, 1193-1202.
- [400] Taghipour, M., Shabrang, M., Habibi, M. H., & Shamami, N. (2020). Assessment and analysis of risk associated with the implementation of enterprise resource planning (ERP) project using FMEA technique (including case-study). *Management*, 3(1), 29-46.
- [401] Tai, Y. M. (2017). Effects of Product Lifecycle Management systems on new product development performance. *Journal of Engineering and Technology Management*, 46, 67-83.
- [402] Talbot, S., Lefebvre, E., & Lefebvre, L. A. (2007). Closed-loop supply chain activities and derived benefits in manufacturing SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 18, 627-658.
- [403] Tang, J., Fung, R. Y., Xu, B., & Wang, D. (2002). A new approach to quality function deployment planning with financial consideration. *Computers & Operations Research*, 29(11), 1447-1463.
- [404] Tata Technologies (2017). *Tata Technologies' PLM Analytics Maturity Assessment Program: Measuring Organizations' Readiness to Adopt PLM*. CIMdata.

- [405] Tata Technologies (2018). *MBSE-PLM Alignment to Support Industry 4.0 and IIoT*. Tata Technologies. www.tatatechnologies.com
- [406] Tatsiopoulou, I. P., Panayiotou, N. A., Kirytopoulos, K., & Tsitsiriggos, K. (2003). Risk management as a strategic issue for the implementation of ERP systems: a case study from the oil industry. *International Journal of Risk Assessment and Management*, 4(1), 20-35.
- [407] Tavana, M., Yazdani, M., & Di Caprio, D. (2017). An application of an integrated ANP–QFD framework for sustainable supplier selection. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 20(3), 254-275.
- [408] Tennant, C., & Roberts, P. (2003). The creation and application of a self-assessment process for new product introduction. *International Journal of Project Management*, 21(2), 77-87.
- [409] Terzi, S., Bouras, A., Dutta, D., Garetti, M., & Kiritsis, D. (2010). Product Lifecycle Management- from its history to its new role. *International Journal of Product Lifecycle*, 4, 360-389.
- [410] Thangamani, G. (2018). Practical risk assessment methodology for ERP project implementation. *Journal of Economics, Business and Management*, 6(3), 84-90.
- [411] Thanh, N. V. (2022). Designing a MCDM Model for Selection of an Optimal ERP Software in Organization. *Systems*, 10, 95.
- [412] Titarenko, B. P. (1997). Robust technology' in risk management. *International Journal of Project Management*, 15(1), 11-14.
- [413] Tomovic, C. L., Ncube, L. B., Walton, A., & Grieves, M. (2010). Development of product lifecycle management metrics: measuring the impact of PLM. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 19(3-4), 167-179.
- [414] Torkayesh, A. E., Yazdani, M., & Ribeiro-Soriano, D. (2022). Analysis of industry 4.0 implementation in mobility sector: An integrated approach based on QFD, BMW, and stratified combined compromise solution under fuzzy environment. *Journal of Industrial Information Integration*, 30, 100406.
- [415] Torra, V. (2010). Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligence System*, 25, 529–39.
- [416] Trias, *Product Lifecycle Management*, dostupno na trias-mikro.de
- [417] Unal, Z., & Cetin, E. M. R. E. (2020). Selection of CRM software in hospitality industry by integrated DEMATEL and TODIM method. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences-Pamukkale Universitesi Muhendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4).
- [418] Urbański, M., Haque, A. U., & Oino, I. (2019). The moderating role of risk management in project planning and project success: Evidence from construction businesses of Pakistan and the UK. *Engineering Management in Production and Services*, 11(1), 23-35.
- [419] USA, Department of Defense (2001). *MIL-HDBK-61A(SE). Military Handbook Configuration Management Guidance*. USA, Department of Defense.
- [420] Usman, M., Britto, R., Damm, L. O., & Börstler, J. (2018). Effort estimation in large-scale software development: An industrial case study. *Information and Software technology*, 99, 21-40.
- [421] Ustinovichius, L., Shevchenko, G., Barvidas, A., Ashikhmin, I. V., & Kochin, D. (2010). Feasibility of verbal analysis application to solving the problems of investment in construction. *Automation in Construction*, 19(3), 375-384.
- [422] Van Laarhoven, P. J., & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11(1-3), 229-241.
- [423] Van Landeghem, H., & Dewilde, H. (1994). A simultaneous engineering benchmarking tool. In *2nd International Conference on Concurrent Engineering and Electronic Design Automation*, 111-116.
- [424] Venghaus, E. & Stark, R. (2018). Understanding PLM and PLM customizing: A theoretical fundament for a conceptual approach. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 670-680). Springer. Cham.
- [425] Vengugopalan, S. R., Sai, L. P., Ganesh, L. S., & Ramakrishnan, G. (2008). Application of AHP for PLM tools selection. *Product Lifecycle Management: Fostering the culture of innovation. PLM-SP4*, 111-125.
- [426] Vesic Vasovic, J., Puzovic, S., & Paunovic, V. (2023). Selection of partners in collaborative technological R&D projects: An approach to criteria prioritization. *Springer Proceedings in Business and Economics*, 77-87.

- [427] Vesic Vasovic, J., Radojicic, M., Klarin, M. M., & Spasojević Brkic, V. K. (2011). Multi-criteria approach to optimization of enterprise production programme. Proceedings of the *Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 225(10), 1951-1963.
- [428] Vezzetti, E., Alemanni, M., & Macheda, J. (2015). Supporting product development in the textile industry through the use of a Product Lifecycle Management approach: a preliminary set of guidelines. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79(9), 1493-1504.
- [429] Vidal, L. A., Marle, F., & Bocquet, J. C. (2011). Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Project Management*, 29(6), 718-727.
- [430] Vidal, L. A., Marle, F., & Bocquet, J. C. (2013). Building up a project complexity framework using an international Delphi study. *International Journal of Technology Management*, 62, 251-283.
- [431] Vieira, D., Schmoller, E., Bravo, A., & Chain, M. C. (2021). Functionality roadmap to define a configuration scope for implementing a PLM system. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 13(3), 224-243.
- [432] von Winterfeldt, D., & Edwards, W. (1993). *Decision Analysis and Behavioral Research*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- [433] Wallace, L., Keil, M., & Rai, A. (2004). How software project risk affects project performance: An investigation of the dimensions of risk and an exploratory model. *Decision Sciences*, 35, 289-321.
- [434] Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F., & Zhao, J. H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2263-2278.
- [435] Wang, L., Yu, L., & Ni, Z. (2022). A novel IVIF QFD considering both the correlations of customer requirements and the ranking uncertainty of technical attributes. *Soft Computing*, 26(9), 4199-4213.
- [436] Wang, Y. M., & Chin, K. S. (2011). A linear programming approximation to the eigenvector method in the analytic hierarchy process. *Information Sciences*, 181(23), 5240-5248.
- [437] Wang, Y. M., Elhag, T. M., & Hua, Z. (2006). A modified fuzzy logarithmic least squares method for fuzzy analytic hierarchy process. *Fuzzy Sets and Systems*, 157(23), 3055-3071.
- [438] Wang, Y. M., Yang, J. B. & Xu, D. L. (2005). A two-stage logarithmic goal programming method for generating weights from interval comparison matrices. *Fuzzy Sets and Systems*, 152, 475-498.
- [439] Wang, Z. L., Liu, H. C., Xu, J. Y., & Ping, Y. J. (2021). A new method for quality function deployment using double hierarchy hesitant fuzzy linguistic term sets and axiomatic design approach. *Quality Engineering*, 33(3), 511-522.
- [440] Warnare, R., & Mudiraj, A. (2014). Risk management in ERP implementation. *International Journal of Research in Computer and Communication Technology*, 3(7), 767-770.
- [441] Westkämper, E., Alting, L., & Arndt, G. (2001). Life cycle management and assessment: approaches and visions towards sustainable manufacturing. Proceedings of the *Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 215(5), 599-626.
- [442] Wissenburg, R., Kusters, R., & Martin, H. (2022). IT project portfolio risks: development and validation of a reference model. In *2022 International Conference on Advanced Enterprise Information System (AEIS)* (pp. 60-71). IEEE.
- [443] Wu, F., Liu, C., Li, H. Z., Gao, K., & Tian, J. (2006). The benefits evaluation of ERP project investment based on real options. In *2006 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics* (pp. 4078-4083). IEEE.
- [444] Wu, S. M., You, X. Y., Liu, H. C., & Wang, L. E. (2020). Improving quality function deployment analysis with the cloud MULTIMOORA method. *International Transactions in Operational Research*, 27(3), 1600-1621.
- [445] Wu, X., & Liao, H. (2018). An approach to quality function deployment based on probabilistic linguistic term sets and ORESTE method for multi-expert multi-criteria decision making. *Information Fusion*, 43, 13-26.
- [446] Wu, X., Liao, H., Xu, Z., Hafezalkotob, A., & Herrera, F. (2018). Probabilistic linguistic MULTIMOORA: A multicriteria decision making method based on the probabilistic linguistic expectation function and the improved Borda rule. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(6), 3688-370
- [447] Wu, Y., Zhang, T., & Yi, L. (2020). An internal type-2 trapezoidal fuzzy sets-PROMETHEE-II based investment decision framework of compressed air energy storage project in China under the perspective of different investors. *Journal of Energy Storage*, 30, 101548.

- [448] Xia, B., & Chan, A. P. (2012). Measuring complexity for building projects: a Delphi study. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(1), 7-24.
- [449] Xia, W., & Lee, G. (2005). Complexity of information systems development projects: conceptualization and measurement development. *Journal of Management Information Systems*, 22(1), 45-83.
- [450] Xu, R. (2000). Fuzzy least-squares priority method in the analytic hierarchy process. *Fuzzy Sets and Systems*, 112(3), 395-404.
- [451] Xu, X. G., Zhang, L., Mao, L. X., & Li, K. (2022). New Approach for Quality Function Deployment Using an Extended CoCoSo Method with Spherical Fuzzy Sets. *Systems*, 10(6), 253.
- [452] Xu, Y., Patnayakuni, R., & Wang, H. (2013). Logarithmic least squares method to priority for group decision making with incomplete fuzzy preference relations. *Applied Mathematical Modelling*, 37(4), 2139-2152.
- [453] Xu, Z., & Da, Q. (2005). A least deviation method to obtain a priority vector of a fuzzy preference relation. *European Journal of Operational Research*, 164(1), 206-216.
- [454] Yan, B., Wang, Y., Xia, W., Hu, X., Ma, H., & Jin, P. (2022). An improved method for satellite emergency mission scheduling scheme group decision-making incorporating PSO and MULTIMOORA. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 42(4), 3837-3853.
- [455] Yang, X., & Wang, Z. J. (2015). Geometric least square models for deriving-valued interval weights from interval fuzzy preference relations based on multiplicative transitivity. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- [456] Yazdani, M., Chatterjee, P., Zavadskas, E. K., & Zolfani, S. H. (2017). Integrated QFD-MCDM framework for green supplier selection. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3728-3740.
- [457] Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2019). A combined compromise solution method for MCDM problems. *Management Decision*, 57(9), 2501-2519.
- [458] Ye-jun, X. U., & Qing-li, D. A. (2008). Weighted least-square method and its improvement for priority of incomplete complementary judgement matrix. *Systems Engineering and Electronics*, 7.
- [459] Yoe, C. (2002). Trade-off analysis planning and procedures guidebook. *US Army Corps of Engineers*, 310.
- [460] You, C. J., Lee, C. K. M., Chen, S. L., & Jiao, R. J. (2012). A real option theoretic fuzzy evaluation model for enterprise resource planning investment. *Journal of Engineering and Technology Management*, 29(1), 47-61.
- [461] Yu, J., Zeng, Q., Yu, Y., Wu, S., Ding, H., Ma, W., ... & Yang, J. (2023). Failure mode and effects analysis based on rough cloud model and MULTIMOORA method: Application to single-point mooring system. *Applied Soft Computing*, 132, 109841.
- [462] Yu, L., Wang, L., & Bao, Y. (2018). Technical attributes ratings in fuzzy QFD by integrating interval-valued intuitionistic fuzzy sets and Choquet integral. *Soft Computing*, 22, 2015-2024.
- [463] Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3):338 – 353
- [464] Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—II. *Information Sciences*, 8(4), 301-357.
- [465] Zaidan, A. A., Zaidan, B. B., Al-Haiqi, A., Kiah, M. L. M., Hussain, M., & Abdulnabi, M. (2015). Evaluation and selection of open-source EMR software packages based on integrated AHP and TOPSIS. *Journal of Biomedical Informatics*, 53, 390-404.
- [466] Zaied, A. N. H., & Mohamed, S. (2021). Proposed risk diagnosing methodology for ERP implementation project in SMEs. *American Journal of Business and Operations Research*, 2(1), 392021-392050.
- [467] Zammit, J. P., Gao, J., & Evans, R. (2017). The challenges of adopting PLM tools involving diversified technologies in the automotive supply chain. In *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management* (pp. 59-68). Springer. Cham.
- [468] Zancul, E. (2012). PLM reference model: a preliminary proposal for reference model evolution. In *Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises: IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012*, Montreal, QC, Canada, (pp. 525-534). Springer Berlin Heidelberg.
- [469] Zanon, G. N., Szejka, A. L., & de Freitas, E. R. (2021). Towards an integrated MCDM and BSC method to support the digital transformation strategy in railway companies. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 16, 302-311.

- [470] Zardari, N. H., Ahmed, K., Shirazi, S. M., & Yusop, Z. B. (2015). *Weighting Methods and Their Effects on Multi-Criteria Decision Making Model Outcomes in Water Resources Management*. Springer.
- [471] Zarei Mahmoudabadi, M., & Emrouznejad, A. (2024). Balanced performance assessment under uncertainty: an integrated CSW-DEA and balanced scorecard (BSC). *Annals of Operations Research*, 341(1), 539-554.
- [472] Zavadskas, E. K. and Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment method in multicriteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172.
- [473] Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2011). Multiple criteria decision making (MCDM) methods in economics: an overview. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(2), 397-427.
- [474] Zavadskas, E. K., Bausys, R., Juodagalviene, B., & Garnyte-Sapranaviciene, I. (2017). Model for residential house element and material selection by neutrosophic MULTIMOORA method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 64, 315-324.
- [475] Zavadskas, E. K., Bausys, R., Lescauskiene, I., & Usovaite, A. (2020). MULTIMOORA under interval-valued neutrosophic sets as the basis for the quantitative heuristic evaluation methodology HEBIN. *Mathematics*, 9(1), 66.
- [476] Zavadskas, E. K., Kaklauskas, A., and Sarka, V. (1994). The new method of multicriteria complex proportional assessment of projects. *Technological and Economic Development of Economy*, 1(3), 131-139.
- [477] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165-179.
- [478] Zeballos, L., & Quiroga, O. (2017). From computer integrated manufacturing to cloud manufacturing. In *VI Simposio Argentino de Informática Industrial (SII)-JAIIO 46*.
- [479] Zendehdel Nobari, B., Azar, A., Kazerooni, M., & Yang, P. (2020). Revisiting enterprise resource planning (ERP) risk factors over the past two decades: defining parameters and providing comprehensive classification. *International Journal of Information Technology*, 1-16.
- [480] Zhang, C., Bai, W., Li, D., & Zhan, J. (2022). Multiple attribute group decision making based on multigranulation probabilistic models, MULTIMOORA and TPOP in incomplete q-rung orthopair fuzzy information systems. *International Journal of Approximate Reasoning*, 143, 102-120.
- [481] Zhang, H., Bouras, A., Sekhari, A., Ouzrout, Y., & Yu, S. (2014). A PLM components monitoring framework for SMEs based on a PLM maturity model and FAHP methodology. *Journal of Modern Project Management*. Mundo Press. 2(1), 109-119.
- [482] Zhang, K., Xie, Y., Noorkhah, S. A., Imeni, M., & Das, S. K. (2023). Neutrosophic management evaluation of insurance companies by a hybrid TODIM-BSC method: a case study in private insurance companies. *Management Decision*, 61(2), 363-381.
- [483] Zhao, W. B., Jeong, J. W., Noh, S. D., & Yee, J. T. (2015). Energy simulation framework integrated with green manufacturing-enabled PLM information model. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 2(3), 217-224.
- [484] Zhao, Z. J., & Chadwick, C. (2014). What we will do versus what we can do: The relative effects of unit-level NPD motivation and capability. *Strategic Management Journal*, 35(12), 1867-1880.
- [485] Zhu, J., & Mostafavi, A. (2017). Discovering complexity and emergent properties in project systems: A new approach to understanding project performance. *International Journal of Project Management*, 35(1), 1-12.
- [486] Zolfaghari, S., & Mousavi, S. M. (2021). A new risk evaluation methodology based on FMEA, MULTIMOORA, TPOP, and interval-valued hesitant fuzzy linguistic sets with an application to healthcare industry. *Kybernetes*, 50(9), 2521-2547.
- [487] Zouine, A., & Fenies, P. (2015). A new evaluation model of ERP system success. *Journal of Intelligence Studies in Business*, 5(1).

ПРИЛОГ

Прилог 1: Упитник за анкетно испитивање

Прилог 2: Приказ резултата анкетног испитивања

Прилог 3: Атрибути сложености пројеката имплементације PLM-а: резултати *Delphi* студије

Прилог 4: Фактори ризика пројеката имплементације PLM-а: резултати *Delphi* студије

Прилог 5: Улазни подаци за процес вишекритеријумске анализе

Прилог 1: Упитник за анкетно испитивање

Пословно име					
Број запослених					
Седиште предузећа					
Индустријски сектор ком предузеће припада					
Претежна делатност					

Укупан број производа у производном програму предузећа					
--	--	--	--	--	--

1	Да ли сте у свој производни програм уводили нове производе у периоду од претходних:					
Годину дана		1-3 године		3-5 година		
Да	Не	Да	Не	Да	Не	

2	Број новоуведених производа у периоду од претходних:					
Годину дана		1-3 године		3-5 година		

3	Степен иновативности новоуведених производа	Годину дана	1-3 године	3-5 година
Потпуно нови производи				
Производи нови само за предузеће				

4	Да ли сте вршили значајније модификације постојећих производа у периоду од претходних:					
Годину дана		1-3 године		3-5 година		
Да	Не	Да	Не	Да	Не	

5	Број значајније модификованих производа у периоду од претходних:					
Годину дана		1-3 године		3-5 година		

6	Природа извршених модификација на производима	Годину дана	1-3 године	3-5 година
Допуна постојеће линије производа (производи уско повезани са постојећим производима који предузећу омогућавају да употпуни своју понуду - постојећи производи новог укуса, мириса, величине)				
Побољшани производи (постојећи производи са побољшаним техничким карактеристикама, компонентама, додатним функционалностима итд.)				
Репозиционирани производи (постојећи производи који су естетски преобликовани, измењене амбалаже или усмерени на ново тржиште)				
Производи смањених трошкова (производи који пружају исте користи као и постојећи али са нижим трошковима израде)				

7	Који проценат нових производа у периоду од претходних 5 година је био неуспешан?	
Није доживео своју комерцијализацију		
Није остварио очекивани комерцијални успех након лансирања на тржиште		

8	Означите разлоге који су утицали на неуспех производа	
	Неадекватна анализа тржишта	
	Мањкавост производа (техничке перформансе, функционалност...)	
	Недостатак успешне промоције за производ	
	Виша цена коштања од предвиђене	
	Јаке снаге и неповољне реакције конкурената	
	Лоше терминирано лансирање производа на тржиште	
	Коришћење неадекватних канала дистрибуције	
	Неприкладна продајна цена производа	

9	Да ли реализујете истраживачко развојне активности?	
	Да, непрестано, систематски и организовано радимо на истраживању и експерименталном развоју	
	Повремено	
	Не	

10	Да ли у предузећу постоји специјализован тим за реализацију истраживачко развојних активности?	
	Да	
	Не	

11	Да ли у предузећу постоји буџет одређен за истраживачко развојне активности?
	Да
	Не

12	Оцените снагу подстицаја за иновирање производа, од 1 – безначајан до 5 – изузетно значајан					
	Спољни подстицаји:	1	2	3	4	5
	Друштвене промене (промена моде, укуса потрошача, система вредности...)					
	Промењене или нове потребе потрошача које нису задовољене					
	Нови производи на тржишту пласирани од стране конкурената					
	Технолошки напредак					
	Остваривање циљева везаних за опстанак, раст и развој предузећа:	1	2	3	4	5
	Искоришћење повећаног потенцијала предузећа					
	Заузимање позиције иновативног лидера на тржишту					
	Раст тржишног удела					
	Продор на нова тржишта					
	Одбрана заузете позиције на тржишту					
	Раст конкурентске снаге					
	Повећање прихода					

13	Разлози због којих у периоду од претходних 5 година предузеће није иновирало у већој мери
	Тржиште на коме наступа не захтева нове производе
	Недостатак финансијских средстава
	Недостатак технолошких компетенција
	Недостатак особља са неопходним компетенцијама
	Није било потребе због претходних иновација
	Развој нових производа не би знатно допринео расту и развоју предузећа

14	Означите начине на које је предузеће у периоду од претходних 5 година развијало производе
	Предузеће је производе развијало самостално
	У сарадњи са другим пословним субјектима
	У сарадњи са специјализованим истраживачко развојним лабораторијама
	У сарадњи са универзитетима и другим високошколским установама
	У сарадњи са научно-истраживачким институтима
	Производе су за предузеће развијале специјализоване организације или други пословни субјекти
	Купљени су већ развијени производи за лансирање на тржиште

15	Уколико је при развоју нових производа постојала сарадња са другим субјектима, означите облике улагања које су остварили
	Финансијска средства
	Капитални ресурси
	Знања, вештине или услуге из области маркетинга
	Знања и вештине неопходне за конципирање, технички развој и тестирање производа
	Обука запослених

16	Означите начине које користите за подстицање иновативности предузећа
	Обука запослених за истраживачко развојне активности
	Подстицање креативног духа код запослених
	Интерне истраживачко развојне активности
	Куповина знања (патенти, <i>know-how</i> технологије, проверене процедуре, процеси...)
	Улагање у нове технологије, опрему...
	Не користите никакве подстицаје за развој иновационог потенцијала

17	Да ли у предузећу постоје формализоване процедуре за развој производа, успостављени системи планирања, контроле и одлучивања?
	Да
	Постоје делимично формализоване процедуре
	Не

18	Означите наводе који најближе описује начин на који организујете процес развоја нових производа
	Процес развоја производа се одвија кроз низ секвенцијалних крока, при чему је одговорност за сваки од њих делегирана посебном тиму или функционалној групи, без развијених механизма крос функционалне сарадње
	Развој нових производа је организован као крос функционални процес, који карактеришу интензивне интеракције, размена знања и сарадња између различитих функционалних група (инжењеринг производа, производња, маркетинг, финансије итд.)

19	Оцените приоритете које предузеће додељује следећим активностима у процесу развоја производа	Низак	Средњи	Висок
	Предразвојна истраживања тржишта			
	Генерисање идеја			
	Оцена идеја			
	Развој и тестирање концепата производа			
	Пословна анализа			
	Технички развој производа			
	Тестирање производа			
	Тестирање тржишта			
	Постављање производње			
	Увођење производа на тржиште			

20	Означите наводе који најближе описују стратегије развоја нових производа које предузеће следите
	Куповина нових производа за лансирање на тржиште
	Унапређење постојећих производа како би били конкурентнији у односу на постојеће производе на тржишту
	Имитирање конкурентских производа и пласирање производа који су слични конкурентским, али бољи
	Реаговање на директне захтеве потрошача за новим или побољшаним производима
	Развој технички супериорних производа – нова техничка достигнућа

21	Да ли у предузећу постоји систем подршке и формализоване процедуре за генерисање и оцену идеја за развој нових производа?
	Да
	Постоје делимично формализоване процедуре и неформалан систем подршке
	Не

22	Чиме се у највећој мери водите при конципирању нових производа?
	Да нови производ оствари што већи успех и одрживост на тржишту
	Да се производи развијају и производе уз помоћ знања, производних капацитета и ресурса које предузеће већ поседујете и што нижи трошкови развоја
	Да нови производи буду што ниже цене коштања
	Да развијате производе који ће задовољити захтеве само одређене групе потрошача

23	Са којим изазовима се најчешће сусрећете током развоја нових производа?
	Недостатак финансијских ресурса
	Лоше техничке компетенције
	Недостатак особља са неопходним компетенцијама
	Слаба сарадња између функционалних група укључених у развој производа
	Слаба подршка менаџмента
	Нејасни циљеви и стратегија развоја нових производа
	Неадекватно планирање процеса развоја нових производа
	Неадекватни системи контроле процеса развоја нових производа
	Неадекватно управљање подацима у процесу развоја нових производа
	Неадекватна финансијска анализа
	Променљиви захтеви и непредвидљиве реакције потрошача
	Слаба интеракција са потрошачима, другим пословним субјектима, истраживачко развојним и др.

24	Да ли је концепт <i>Product Lifecycle Management</i> – PLM уведен у предузећу?
	Да
	Тренутно смо у процесу увођења овог концепта
	Не, али постоји иницијатива за његово увођење
	Не

25	Уколико PLM концепт није уведен, означите разлоге који су на то утицали
	Не разумемо у потпуности PLM концепт
	Наше пословне потребе не захтевају тако сложене платформе (пословни процеси нису зрели за успостављање PLM приступа)
	Недостатак стручног кадра за имплементацију PLM концепта
	Недоступност софтверске подршке на тржишту која одговара потребама предузећа
	Високи трошкови увођења PLM-а
	Већ су имплементирани системи (ERP, PDM, CAx итд.) који се не могу интегрисати са PLM решењима
	Постоји отпор запослених према променама и новом начину рада који увођење PLM-а захтева
	Немогућност спровођења адекватних програма обуке за запослене

26	Да ли у предузећу постоје формализоване процедуре за управљање производима кроз животни циклус у домену	Да	Не
27	Да ли у управљању производима користите специјализовану софтверску подршку за:	Да	Не
	Управљање инжењерским информацијама о производу		
	Управљање документацијом		
	Управљање неусаглашеностима		
	Управљање пројектима		
	Управљање променама		
	Управљање структурама производа		
	Управљање конфигурацијама		

Питања за односе на предузећа која примењују PLM концепт или су у процесу његовог увођења.

28	Да ли предузеће има развијену PLM стратегију?	Да	Не

28	Уколико је PLM стратегија развијена, да ли је она:	Да	Не
	Јасно дефинисана		
	Транспарентна		
	Усклађена са пословном стратегијом предузећа		
	Преведена у акциони план реализације		

29	Да ли су успостављени системи подршке за имплементацију PLM-а?	Да	Не

30	Да ли су запослени активно укључени у имплементацију PLM-а?	Да	Не

31	Да ли сматрате да запослени јасно разумеју PLM концепт?	Да	Не

32	Да ли сте спровели неке видове обуке запослених неопходне за усвајање PLM-а?	Да	Не

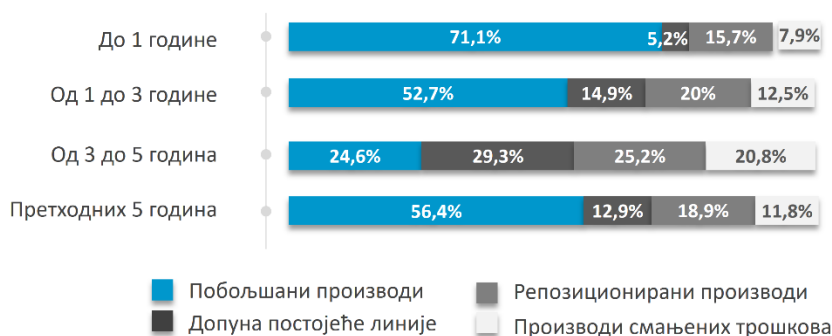
33	Да ли је PLM систем интегрисан са другим системима предузећа?	Да	Не	Не користимо ове системе
	CAx системи			
	ERP (<i>Enterprise Resource Planning</i>) систем			
	MES (<i>Manufacturing Execution System</i>) систем			

34	Означите поља испред функција које садржи PLM софтвер који користите?
	Управљање документацијом
	Управљање инжењерским информацијама о производу
	Управљање конфигурацијама
	Управљање неусаглашеностима
	Управљање променама
	Управљање пројектима
	Управљање структуром производа

Прилог 2: Приказ резултата анкетног испитивања



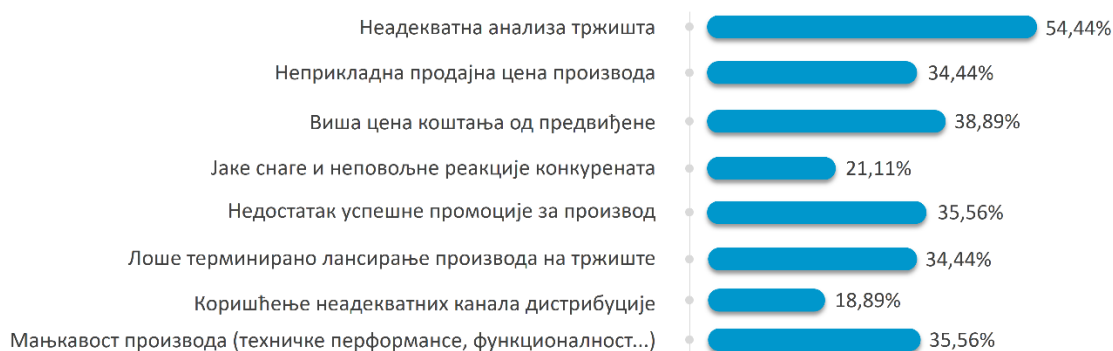
Слика 63. Иновативне активности развоја нових производа



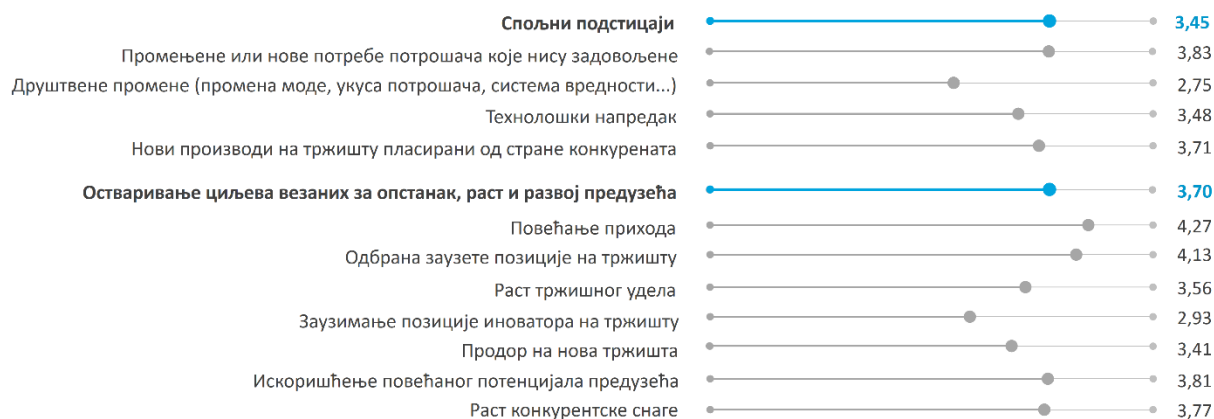
Слика 64. Структура модификованих производа према природи модификација



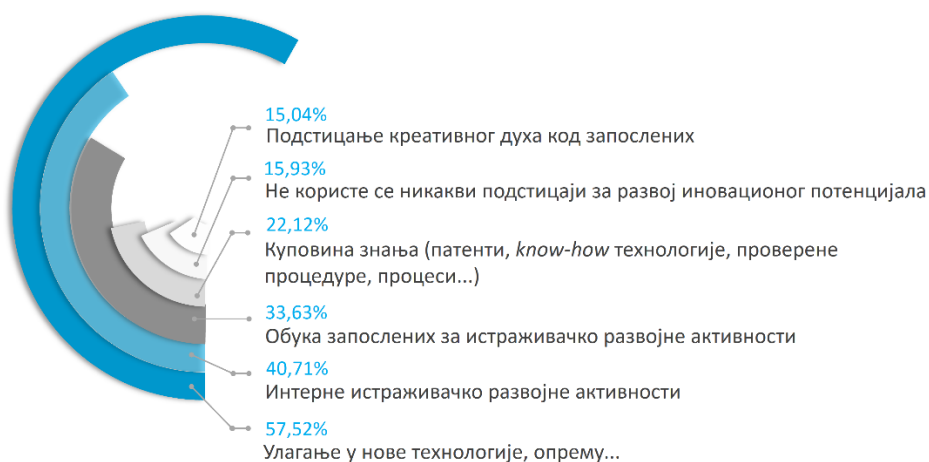
Слика 65. Заступљеност нових производа у структури производног програма



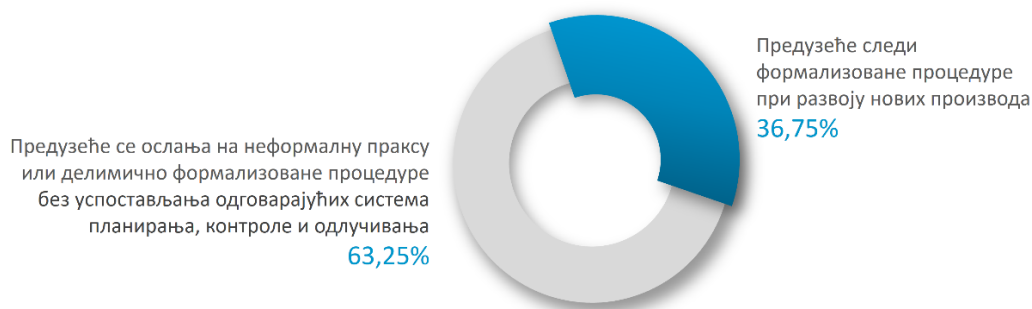
Слика 66. Разлози неуспеха нових производа



Слика 67. Подстицаји за иновативно деловање предузећа



Слика 68. Начини на које предузећа оснажују свој иновациони потенцијал



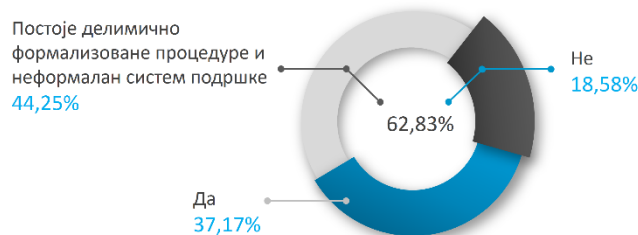
Слика 69. Формализованост процеса развоја нових производа



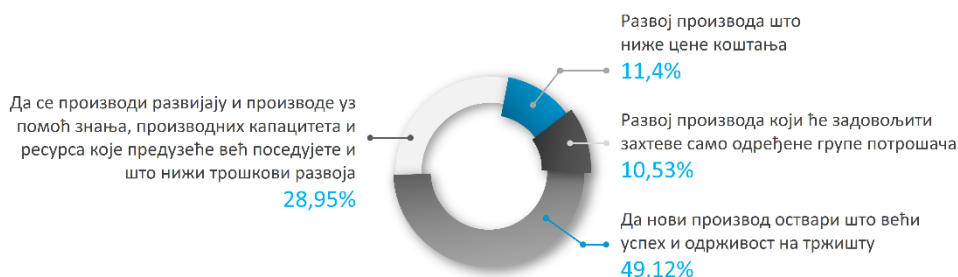
Слика 70. Крос-функционална перспектива процеса развоја нових производа



Слика 71. Приоритети активности у процесу развоја нових производа



Слика 72. Формализованост процедура за генерисање и оцену идеја и системи подршке



Слика 73. Циљеви којима се предузећа воде при конципирању нових производа



Слика 74. Формализованост процедура за управљање производима



Слика 75. Употреба софтверских решења за различите аспекте PLM-а

Прилог 3: Атрибути сложености пројеката имплементације PLM-а: резултати *Delphi* студије

Табела 59. Атрибути сложености својствени пројектима имплементације PLM-а: резултати *Delphi* студије

Атрибути сложености	Студије	Резултати DELPHI студије		
		Прва итерација	Друга итерација IT2TrF тежине атрибута ($\tilde{\epsilon}_i$)	Дефазификоване тежине атрибута (ϵ_i)
ФАКТОРИ ВЕЛИЧИНЕ				
Број партиципирајућих организационих ентитета	[449, 176, 430, 272, 25, 207, 293]	91.67%	(5.36,6.384,8.123,8.813;1,1) (5.566,6.588,7.922,8.678;0,8,0,8)	7.1704
Број функционалних група којима треба координирати	[430, 272, 259, 25]	33.33%		
Величина и крос-функционални састав тима за имплементацију	[430, 272, 25, 105, 293, 103]	58.33%	(2.498,3.364,4.996,5.788;1,1) (2.676,3.531,4.836,5.630;0,8,0,8)	4.1629
Технички обим имплементације: број информационих система/решења/функција које треба имплементирати	[449, 176, 430, 272, 25, 207, 208]	100%	(6.435,7.445,8.739,9;1,1) (6.637,7.646,8.539,8.95;0,8,0,8)	7.9025
Опсег обухваћених пословних процеса	Delphi панелисти	83.33%	(5.288,6.295,8.159,9;1,1) (5.490,6.496,7.958,8.833;0,8,0,8)	7.1854
Вишеструки пројектни резултати	[430, 272, 25, 293]	33.33%		
Време потребно за имплементацију	[430, 272, 25, 207, 293, 22, 103]	91.67%	(4.723,5.744,7.701,8.631;1,1) (4.928,5.947,7.499,8.446;0,8,0,8)	6.6998
Број и структура пројектних активности	[430, 272, 259, 25, 207, 208, 22, 103]	50%	(1,1.682,2.828,3.344;1,1) (1.147,1.806,2.722,3.243;0,8,0,8)	2.2168
Број и структурираност важних одлука које треба донети	[430, 272, 25]	16.67%		
Многоструки циљеви имплементације	[430, 272, 25, 207, 208, 22]	50%	(1,1.414,2,2.236;1,1) (1.095,1.483,1.949,2.191;0,8,0,8)	1.6660
Велики број заинтересованих страна	[430, 272, 176, 25, 293, 207, 208]	58.33%	(1,1.498,2.245,2.557;1,1) (1.112,1.584,2.179,2.497;0,8,0,8)	1.8287
Велики број ангажованих ИТ провајдера и извођача	[25, 105]	66.67%	(2.080,3.175,5.241,6.257;1,1) (2.308,3.386,5.037,6.055;0,8,0,8)	4.1903
Износ ангажованих ресурса	[430, 272, 25]	58.33%	(1,1.498,2.245,2.557;1,1) (1.112,1.584,2.179,2.497;0,8,0,8)	1.8287
Укупан износ капиталних улагања	[430, 272, 25, 299, 207, 293, 22]	16.67%		
Уклањање наслеђених система/апликација	[349]	66.67%	(3.873,4.899,6.928,7.937;1,1) (4.079,5.103,6.726,7.736;0,8,0,8)	5.9097
Број индикатора перформанси које на пројекту треба пратити	Delphi панелисти	75%	(3.409,4.427,6.447,7.454;1,1) (3.613,4.63,6.246,7.253;0,8,0,8)	5.4344
Број крајњих корисника	Delphi панелисти	83.33%	(4.928,5.941,7.888,8.813;1,1) (5.131,6.143,7.687,8.629;0,8,0,8)	6.8927
ФАКТОРИ ДИВЕРЗИТЕТА				
Разноликост компетенција тима за имплементацију (професионалне специјализације, вештине итд.)	[430, 272, 25, 293]	75%	(3.409,4.427,6.447,7.454;1,1) (3.613,4.63,6.246,7.253;0,8,0,8)	5.4344
Разноликост информационих система/софтверских решења/објеката које треба интегрисати	[429, 430, 272, 25, 293, 22]	91.67%	(5.212,6.233,8.044,8.813;1,1) (5.417,6.437,7.843,8.661;0,8,0,8)	7.0758
Разноликост пројектних активности	[176, 25, 207]	50%	(1,1.414,2,2.236;1,1) (1.095,1.483,1.949,2.191;0,8,0,8)	1.6660
Више различитих технологија ангажованих на пројекту	[449, 430, 272, 176, 22, 25, 299]	58.33%	(1.442,2,2.884,3.271;1,1) (1.566,2.098,2.804,3.196;0,8,0,8)	2.4029
Број различитих метода, алата и техника коришћених у извођењу пројекта	[430, 272, 25, 207]	50%	(1.096,1.587,2.322,2.63;1,1) (1.207,1.672,2.257,2.57;0,8,0,8)	1.9124
Различите перспективе и очекивања заинтересованих страна	[429, 430, 272, 25, 105, 207, 293, 22]	50%	(2.280,3.364,5.422,6.435;1,1) (2.504,3.573,5.218,6.233;0,8,0,8)	4.3767
Разноликост ангажованих ресурса	[430, 272, 25]	50%	(1.096,1.498,2.069,2.3;1,1) (1.189,1.565,2.019,2.255;0,8,0,8)	1.744
ФАКТОРИ ТЕХНИЧКЕ И ОПЕРАТИВНЕ СЛОЖЕНОСТИ				
Неопходна стручност, знање, специјализоване вештине, искуство тима за имплементацију и сл.	[25, 105]	75%	(4.217,5.241,7.268,8.277;1,1) (4.423,5.445,7.067,8.075;0,8,0,8)	6.2513
Захтеви квалитета и специфични стандарди	[25, 207, 208, 103, 22]	33.33%		
Захтевани степен интеграције	[449]	91.67%	(5.916,6.928,8.485,9;1,1) 6.119,7.130,8.285,8.899;0,8,0,8)	7.5817

Атрибути сложености	Студије	Резултати DELPHI студије		
		Прва итерација	Друга итерација IT2TrF тежине атрибута ($\tilde{\epsilon}_i$)	Дефазификоване тежине атрибута (ϵ_i)
Степен организационих промена (захтеви реинжењеринга пословних процеса, промене у организационој култури и сл.)	Delphi панелисти	100%	(6.257,7.268,8.653,9;1,1) (6.460,7.470,8.453,8.933;0,8,0,8)	7.7932
Напор прилагођавања решења (врста и степен прилагођавања, јасно дефинисани захтеви прилагођавања итд.)	Delphi панелисти	100%	(6.084,7.096,8.569,9;1,1) (6.287,7.298,8.369,8.916;0,8,0,8)	7.6863
Напори чишћења и миграције података (количина, квалитет старих података, напор конверзије у смислу неусаглашености података)	Delphi панелисти	91.67%	(4.526,5.553,7.518,8.452;1,1) (4.732,5.757,7.316,8.266;0,8,0,8)	6.5126
Недостатак транспарентности и документованости процеса, скривене или нејасне информације	Delphi панелисти	91.67%	(4.995,6.026,7.853,8.631;1,1) (5.202,6.231,7.652,8.477;0,8,0,8)	6.8766
Ниво новитета технологија	[449, 25, 299, 326, 207, 22]	41.67%		
Сложеност имплементираних PLM технологија	[176, 259, 25, 326]	91.67%	(5.360,6.384,8.123,8.813;1,1) (5.566,6.588,7.922,8.678;0,8,0,8)	7.1704
Потребе за сарадњом и препреке у комуникацији због структуре пројекта и састава тима	[103]	50%	(1.096,1.682,2.606,3.007;1,1) (1.225,1.785,2.522,2.929;0,8,0,8)	2.1015
ФАКТОРИ НЕПРЕДВИДИВОСТИ				
Неодређеност у погледу опсега имплементације, захтева и очекивања	[176, 259, 25, 105, 299, 326, 207, 293, 208, 103, 22]	83.33%	(5.433,6.475,8.088,8.631;1,1) (5.643,6.682,7.886,8.525;0,8,0,8)	7.1567
Неодређености у вези задатака на пројекту	[176, 259, 25, 207]	41.67%		
Ограничења у планирању пројекта	[293, 103]	33.33%		
Нејасне и непотпуне информације	[176, 259, 25, 207, 22]	41.67%		
Зрелост имплементираних PLM технологија	[207]	66.67%	(4.156,5.190,7.166,8.105;1,1) 4.364,5.396,6.964,7.918;0,8,0,8)	6.155
ЗАВИСНОСТИ НА ПРОЈЕКТУ				
Међузависности спецификација	[430, 272, 25, 293]	25%		
Међузависности процеса	[430, 25, 207, 22]	50%	(1.096,1.587,2.322,2.63;1,1) (1.207,1.672,2.257,2.57;0,8,0,8)	1.9124
Технолошке зависности са другим пројектима у оквиру иницијативе за имплементације PLM-а	Delphi панелисти	91.67%	(5.513,6.539,8.203,8.813;1,1) (5.719,6.744,8.002,8.694;0,8,0,8)	7.2671
Сложеност односа између пројектних задатака	[176, 430, 272, 259, 25, 207, 22]	58.33%	(1.201,1.682,2.402,2.705;1,1) (1.31,1.764,2.338,2.646;0,8,0,8)	2.0008
Међузависности укључених организационих ентитета	[449, 430, 176, 25, 293, 22]	50%	(1,1.414,2,2.236;1,1) (1.095,1.483,1.949,2.191;0,8,0,8)	1.6660
Међусобна усаглашеност циљева имплементације	[25, 207, 208, 22]	83.33%	(2.857,3.905,5.941,6.951;1,1) (3.071,4.111,5.739,6.749;0,8,0,8)	4.9144
Зависности између циљева имплементације	[430, 25, 207]	33.33%		
Зависности између заинтересованих страна	[430, 272, 25, 207, 208]	16.67%		
Ограничења интерних ресурса (доступност квалификованог особља, материјалних ресурса, итд.)	[449, 176, 259, 105, 207, 293, 22, 103]	75%	(4.857,5.883,7.777,8.631;1,1) (5.063,6.087,7.575,8.461;0,8,0,8)	6.7872
Зависности између ресурса ангажованих на реализацији пројекта	[25]	16.67%		
Ослањање на спољне актере (извођаче, консултанте, ИТ провајдере)	[449, 25]	66.67%	(4.217,5.241,7.268,8.277;1,1) (4.423,5.445,7.067,8.075;0,8,0,8)	6.2513
Зависности између информационих система/решења/објеката које треба имплементирати	[449, 430, 272, 25, 207, 293]	100%	(5.753,6.764,8.402,9;1,1) (5.955,6.966,8.202,8.883;0,8,0,8)	7.4793
Интеракције и зависност са спољним окружењем	[176, 25, 207, 22]	8.33%		
Динамичност структуре тима за имплементацију	[430, 272, 25]	50%	(1,1.414,2,2.236;1,1) (1.095,1.483,1.949,2.191;0,8,0,8)	1.6660
Повезаност са наслеђеним информационим системима и апликацијама	[449]	83.33%	(5.068,6.086,7.965,8.813;1,1) (5.272,6.288,7.764,8.645;0,8,0,8)	6.9832
ЕЛЕМЕНТИ КОНТЕКСТА				
Сложеност пројектног окружења	[430, 272, 259, 25, 293, 22, 207]	25%		
Искуство са ангажованим партнерима у имплементацији	[25]	58.33%	(2.738,3.775,5.801,6.806;1,1) (2.949,3.98,5.599,6.605;0,8,0,8)	4.7808
Утицај који пројекат остварује на спољно окружење	[293]	16.67%		
Претходно искуство са сличним технологијама	[207]	75%	(3.506,4.534,6.511,7.454;1,1) (3.712,4.739,6.309,7.266;0,8,0,8)	5.5016

Прилог 4: Фактори ризика пројеката имплементације PLM-а: резултати *Delphi* студије

Табела 60. Фактори ризика својствени пројектима имплементације PLM-а: резултати *Delphi* студије

Фактори ризика	Студије	Резултати DELPHI студије		
		Прва итерација	Друга итерација IT2TrF тежине атрибута ($\tilde{\epsilon}_i$)	Дефазификоване тежине атрибута (ϵ_i)
Избор неадекватне софтверске подршке/конфигурације софтверског решења	[466, 5, 9, 149, 288, 302, 360, 410, 479]	75%	(2.573,3.548,5.264,6.076;1,1) (2.782,3.729,5.099,5.915;0,8,0,8)	4.369
Недовољно укључивање и посвећеност корисника пројекту имплементације; баријере у комуникацији и отежана сарадња	[9, 33, 72, 132, 149, 167, 187, 188, 201, 223, 256, 281, 288, 302, 356, 410]	91.67%	(5.513,6.539,8.203,8.813;1,1) (5.719,6.744,8.002,8.694;0,8,0,8)	7.2671
Недовољно искусни корисници	[187]	33.33 %		
Ризик од неприхватања нових технологија: негативни ставови и резистентност корисника према променама	[5, 112, 149, 167, 188, 256, 400, 410, 466, 479]	100%	(5.593,6.604,8.320,9;1,1) (5.796,6.806,8.120,8.866;0,8,0,8)	7.3792
Корисници не разумеју у потпуности могућности нових технологија	[256]	41.67%		
Недовољни или неуспели програми обуке за нове процесе и технологије	[479, 466, 410, 302, 288, 223, 167, 149, 72, 33, 32, 9]	91.67%	(4.821,5.967,7.743,8.392;1,1) (5.061,6.186,7.537,8.266;0,8,0,8)	6.7328
Захтеване организационе промене нису спроведене на адекватан начин; имплементирани процеси нису усаглашени са пословним потребама	[9, 223, 302, 410, 440, 466, 479]	100%	(6.084,7.096,8.569,9;1,1) (6.287,7.298,8.369,8.916;0,8,0,8)	7.6863
Неадекватно мапирање постојећих процеса	[410]	83.33%	(4.396,5.445,7.308,8.105;1,1) (4.608,5.653,7.105,7.948;0,8,0,8)	6.3143
Дисбаланс између прилагођавања софтверских решења и организационих промена	[479]	83.33%	(2.962,4.079,6.172,7.197;1,1) (3.195,4.294,5.966,6.992;0,8,0,8)	5.1046
Неефикасно управљање процесом промена	[5, 9, 31, 187, 223, 302, 410, 479]	25%		
Проблеми узроковани наслеђеним системима	[9, 223, 302, 410, 440, 479]	66.67%	(2.25,3.430,5.577,6.616;1,1) (2.5,3.653,5.368,6.409;0,8,0,8)	4.4717
Неадекватна подршка од стране партнера у имплементацији (провајдери софтверских решења и уговорни извођачи); недоступност одговарајућих консалтинг услуга	[479, 466, 440, 410, 406, 302, 223, 149, 72, 33, 32, 9]	91.67%	(4.337,5.369,7.340,8.277;1,1) (4.545,5.574,7.138,8.09;0,8,0,8)	6.3311
Непоуздани провајдери софтверских решења/уговорени извођачи	[223, 288, 440, 9, 479]	75.00%	(2.466,3.430,5.140,5.95;1,1) (2.672,3.610,4.975,5.789;0,8,0,8)	4.2499
Недовољна контрола екстерних партнера у имплементацији (провајдери софтверских решења и извођачи)	[187, 410]	83.33%	(4.337,5.369,7.340,8.277;1,1) (4.545,5.574,7.138,8.09;0,8,0,8)	6.3311
Погрешна процена и алокација или недовољно ресурса	[32, 112, 188, 410, 361]	83.33%	(2.983,4.178,6.233,7.146;1,1) (3.236,4.403,6.024,6.966;0,8,0,8)	5.1384
Занемаривање имплицитних захтева или њихово откривање током каснијих фаза пројекта	[361, 410, 281, 132, 33, 5]	75%	(4.213,5.264,7.135,7.937;1,1) (4.425,5.472,6.932,7.779;0,8,0,8)	6.1380
Лоше дефинисани, непотпуни или погрешно протумачени захтеви	[132, 149, 187, 188, 223, 256, 281, 410, 361, 410, 440, 466, 479]	91.67%	(2.962,4.079,6.172,7.197;1,1) (3.195,4.294,5.966,6.992;0,8,0,8)	5.1046
Погрешно процењени приоритети захтева	[410]	25%		
Међусобно контрадикторни/конфликтни захтеви	[256, 410]	41.67%		
Некомпатибилност и проблеми у интеграцији са постојећим ИТ системима и апликацијама	[410, 440, 466]	91.67%	(4.995,6.026,7.853,8.631;1,1) (5.202,6.231,7.652,8.477;0,8,0,8)	6.8766
Проблеми везани за интеграцију система	[72, 466]	83.33%	(5.588,6.633,8.168,8.631;1,1) (5.798,6.840,7.965,8.541;0,8,0,8)	7.2543
Недовољна посвећеност и подршка пројекту од стране менаџмента	[149, 167, 9, 201, 223, 256, 288, 302, 400, 410, 466, 479, 72, 132]	33.33%		
Неефикасна методологија управљања пројектом	[33, 72, 132, 167, 187, 188, 223, 288, 302, 410, 479, 9, 201, 31]	25%		
Неискусни и некомпетентни менаџери пројекта	[223, 187, 149, 188]	16.67%		
Неадекватно управљање финансијама на пројекту	[201, 9, 302]	8.33%		
Неефикасна методологија развоја информационих система	[223, 256]	25%		
Променљиви или погрешно дефинисани опсег и циљеви имплементације	[400, 132, 33, 223, 256, 288, 479]	83.33%	(2.983,4.178,6.233,7.146;1,1) (3.236,4.403,6.024,6.966;0,8,0,8)	5.1384
Успостављене функције и кориснички интерфејси нису у складу са пословним потребама; проблеми у прилагођавању система	[72, 149, 281, 466, 479]	91.67%	(5.513,6.539,8.203,8.813;1,1) (5.719,6.744,8.002,8.694;0,8,0,8)	7.2671
Ризик планирања пројекта	[132, 149, 187, 223, 281, 302, 410]	16.67%		

Фактори ризика	Студије	Резултати DELPHI студије		
		Прва итерација	Друга итерација IT2TrF тежине атрибута ($\tilde{\epsilon}_i$)	Дефазификоване тежине атрибута (ϵ_i)
Неадекватно мерење перформанси и мониторинг прогреса пројекта	[187, 288, 361, 466, 479, 149, 132]	91.67%	(4.995,6.026,7.853,8.631;1,1) (5.202,6.231,7.652,8.477;0.8,0.8)	6.8766
Недовољна стручност тима за имплементацију; недостатак аналитичара са релевантним познавањем и интерних процеса и технологија	[356, 256, 188, 201, 281, 302, 361, 410, 479, 9, 31, 149, 187]	83.33%	(4.432,5.553,7.518,8.392;1,1) (4.666,5.768,7.313,8.219;0.8,0.8)	6.4760
Отежано комбиновање интерне са екстерном експертизом	[410]	33.33%		
Недовољна мотивисаност и посвећеност чланова тима за имплементацију	[361, 288, 5, 479]	41.67%		
Неодговарајући састав и честе флуктуације у тиму за имплементацију	[167, 31, 149, 466, 479, 223, 256, 288, 410]	8.33%		
Лоша комуникација у тиму за имплементацију	[479, 302, 188]	25.00%		
Динамично и нестабилно организационо окружење	[187, 410, 281, 188, 149]	16.67%		
Организациона незрелост за усвајање нових технологија (некомпатибилност пословних процеса, организационе културе итд.)	[256, 288, 5, 410, 466]	100%	(5.439,6.447,8.239,9;1,1) (5.641,6.649,8.039,8.850;0.8,0.8)	7.2812
Ограничења наметнута корпоративном политиком	[188, 187, 356]	16.67%		
Неадекватно тестирање решења пре пуштања у рад	[410, 466, 72, 5, 149, 33]	58.33%	(1.201,2,3.397,4.044;1,1) (1.371,2.149,3.264,3.917;0.8,0.8)	2.6635
Редовно пословање и активности на имплементацији су међусобно опструктивне	[466]	83.33%	(3.901,5.018,6.997,7.881;1,1) (4.132,5.233,6.791,7.706;0.8,0.8)	5.951
Проблеми везани за миграцију података	[33, 149, 288, 410, 466, 479]	75%	(3.225,4.364,6.475,7.504;1,1) (3.464,4.582,6.268,7.299;0.8,0.8)	5.3949
Погрешна пројекција буџета	[479, 410, 5, 33]	25%		
Трошкови премашују почетне пројекције	[466]	41.67%		
Постојећа ИТ инфраструктуре није у стању да подржи нове технологије	[410, 400, 356, 302, 288, 149, 33, 5]	75%	(3.110,4.178,6.233,7.248;1,1) (3.329,4.387,6.030,7.045;0.8,0.8)	5.1937
Конфликти између корисничких група	[223, 256, 188, 288, 466, 31]	50%	(1.096,1.498,2.069,2.3;1,1) (1.189,1.565,2.019,2.255;0.8,0.8)	1.744
Отежана комуникација и неспоразуми између интерног тима за имплементацију и провајдера софтверских решења	[466, 256]	66.67%	(1.316,2.119,3.513,4.159;1,1) (1.488,2.268,3.381,4.032;0.8,0.8)	2.7801
Непотпуна или недовољно детаљна документација/спецификације	[410, 132, 33, 281]	50%	(1,1,414,2,2.236;1,1) (1.095,1.483,1.949,2.191;0.8,0.8)	1.666
Неадекватна подршка након имплементације (поправке, одржавање и надоградња)	[440, 5, 410, 479]	75%	(3.267,4.280,6.295,7.299;1,1) 3.470,4.482,6.094,7.099;0.8,0.8)	5.2853
Занемаривање пословних захтева ради технологије	[256]	66.67%	(1.639,2.345,3.479,3.983;1,1) (1.795,2.470,3.375,3.885;0.8,0.8)	2.8656
Технички проблеми током имплементације	[406, 466, 410, 361]	75%	(5.36,6.384,8.123,8.813;1,1) (5.566,6.588,7.922,8.678;0.8,0.8)	7.1704
Лоша архитектура система	[410]	66.67%	(2.983,4.178,6.233,7.146;1,1) (3.236,4.403,6.024,6.966;0.8,0.8)	5.1384
Нестабилност постојећих технологија	[410]	58.33%	(1.201,1.682,2.402,2.705;1,1) (1.31,1.764,2.338,2.646;0.8,0.8)	2.0008
Погрешно процењени имплементациони напори	[149]	50%	(1,1,414,2,2.236;1,1) (1.095,1.483,1.949,2.191;0.8,0.8)	1.666
Недовољна укљученост интерног особља услед прекомерне употребе екстерне експертизе	[256]	41.67%		
Потенцијал имплементираних технологија се не користи у потпуности	[466]	75%	(3.267,4.280,6.295,7.299;1,1) (3.47,4.482,6.094,7.099;0.8,0.8)	5.2853
Континуирани развој технологија	[188]	58.33%	(1.096,1.587,2.322,2.630;1,1) (1.207,1.672,2.257,2.570;0.8,0.8)	1.9124
Правни и уговорни ризици	[479]	16.67%		
Неадекватно управљање корисничким очекивањима	[466, 223]	41.67%		
Инсистирање на придржавању постојећих организационих процедура	[288]	41.67%		
Недовољна укљученост <i>власника процеса</i>	[33]	91.67%	(3.023,4.238,6.206,6.998;1,1) (3.281,4.466,5.996,6.843;0.8,0.8)	5.1199
Отежано идентификовање/промене кључних корисника	[288]	33.33%		

Прилог 5: Улазни подаци за процес вишекритеријумске анализе

Табела 61. QFD матрица релација: утицај PLM функционалних подручја на остваривање потенцијалних користи

BSC засновани аспекти евалуације	PLM функционална подручја								
	FP_1	FP_2	FP_3	FP_4	FP_5	FP_6	FP_7	FP_8	FP_9
FP_1	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)		(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.467,0.57,0.617,0.667;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.467,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)
FP_2	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)		(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0,0.067,0.1,0.2;1,1) (0.033,0.067,0.1,0.133;0.9,0.9)				
FP_3	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.63;1,1) (0.333,0.43,0.483,0.53;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.767,0.9,0.93,1;1,1) (0.85,0.9,0.93,0.97;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)
FP_4	(0.57,0.73,0.77,0.87;1,1) (0.65,0.73,0.77,0.8;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.667;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.88,0.967;1,1) (0.78,0.85,0.88,0.92;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)
FP_5	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.467,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.483,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)
IPP_1	(0.50,0.68,0.73,0.87;1,1) (0.6,0.68,0.73,0.78;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)		(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.483,0.53;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.0,03,0.05,0.1;1,1) (0.017,0.03,0.05,0.07;0.9,0.9)
IPP_2	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)		(0.03,0.1,0.117,0.167;1,1) (0.067,0.1,0.117,0.13;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)
IPP_3	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.167,0.367,0.417,0.57;1,1) (0.27,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.167,0.183,0.23;1,1) (0.13,0.167,0.18,0.2;0.9,0.9)	
IPP_4	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.067,0.2,0.233,0.333;1,1) (0.13,0.2,0.233,0.267;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)		(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)			(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	
IPP_5	(0.30,0.50,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.13,0.267,0.3,0.4;1,1) (0.2,0.267,0.3,0.333;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.067,0.23,0.283,0.43;1,1) (0.15,0.23,0.283,0.333;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)		(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	
IPP_6	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)		(0,0.1,0.15,0.3;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.83,0.95,0.967,1;1,1) (0.9,0.95,0.967,0.98;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.850.9;0.9,0.9)
IPP_7	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)		(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
IPP_8	(0.50,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.617,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.83,0.95,0.967,1;1,1) (0.9,0.95,0.967,0.98;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)
IPP_9	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.617,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.167,0.367,0.417,0.57;1,1) (0.267,0.37,0.417,0.47;0.9,0.9)	(0.067,0.23,0.283,0.43;1,1) (0.15,0.23,0.28,0.33;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0,0.03,0.05,0.1;1,1) (0.017,0.03,0.05,0.067;0.9,0.9)
IPP_10	(0.7,0.85,0.88,0.97;1,1) (0.78,0.85,0.88,0.92;0.9,0.9)	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.067,0.23,0.283,0.43;1,1) (0.15,0.23,0.28,0.33;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	
IPP_11	(0.77,0.9,0.93,1;1,1) (0.85,0.9,0.93,0.97;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.767,0.9,0.933,1;1,1) (0.85,0.9,0.93,0.97;0.9,0.9)		(0.57,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.07,0.23,0.28,0.43;1,1) (0.15,0.23,0.283,0.33;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)
CP_1	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.57,0.73,0.783,0.9;1,1) (0.667,0.73,0.783,0.833;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.03,0.167,0.217,0.367;1,1) (0.1,0.167,0.217,0.267;0.9,0.9)	(0,0.1,0.15,0.3;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)
CP_2	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)		(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.467,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)
CP_3	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.667;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.68,0.73,0.867;1,1) (0.6,0.68,0.73,0.783;0.9,0.9)		(0.367,0.57,0.617,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)
CP_4	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.467,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.667;0.9,0.9)		(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.17,0.367,0.417,0.57;1,1) (0.26,0.37,0.42,0.47;0.9,0.9)		(0.13,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.217,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
LGP_1	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.483,0.53;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.667;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.83,0.95,0.967,1;1,1) (0.9,0.95,0.967,0.98;0.9,0.9)
LGP_2	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.57,0.73,0.78,0.9;1,1) (0.67,0.73,0.78,0.83;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)
LGP_3	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.667;0.9,0.9)	(0,0.03,0.05,0.1;1,1) (0.017,0.03,0.05,0.067;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)		(0,0.03,0.05,0.1;1,1) (0.017,0.03,0.05,0.067;0.9,0.9)	(0.167,0.367,0.417,0.57;1,1) (0.27,0.37,0.42,0.47;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)

BSC засновани аспекти евалуације	PLM функционална подручја								
	FP_10	FP_11	FP_12	FP_13	FP_14	FP_15	FP_16	FP_17	FP_18
FP_1	(0.367,0.57,0.617,0.767;1,1) (0.467,0.57,0.617,0.667;0.9,0.9)		(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)		(0.17,0.37,0.42,0.57;1,1) (0.27,0.37,0.42,0.47;0.9,0.9)	(0.17,0.37,0.42,0.57;1,1) (0.27,0.37,0.42,0.47;0.9,0.9)	(0.77,0.9,0.93,1;1,1) (0.85,0.9,0.93,0.97;0.9,0.9)		
FP_2			(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)		(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)		(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	
FP_3	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)				(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
FP_4	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) 0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.00,0.07,0.1,0.2;1,1) (0.03,0.07,0.1,0.13;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.17,0.37,0.42,0.57;1,1) (0.27,0.37,0.42,0.47;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) 0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)
FP_5	(0.367,0.57,0.617,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.617,0.67;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)			(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) 0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
IPP_1	(0,0.03,0.05,0.1;1,1) (0.017,0.03,005,0.07;0.9,0.9)		(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)		(0.03,0.17,0.22,0.37;1,1) (0.1,0.17,0.22,0.27;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)		
IPP_2	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)		(0.00,0.03,0.05,0.1;1,1) (0.02,0.03,0.05,0.07;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)		
IPP_3		(0.00,0.03,0.05,0.1;1,1) (0.02,0.03,0.05,0.07;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)			(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)			
IPP_4			(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)				(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	
IPP_5			(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85;0.9,0.9),0.9			(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) 0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)			
IPP_6	(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.00,0.07,0.1,0.2;1,1) (0.03,0.07,0.1,0.13;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) 0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)		
IPP_7	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.1,0.17,0.18,0.23;1,1) (0.13,0.17,0.18,0.2;0.9,0.9)		(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)		(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
IPP_8	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)		(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
IPP_9	(0,0.03,0.05,0.1;1,1) (0.017,0.03,0.05,0.07;0.9,0.9)	(0.13,0.27,0.3,0.4;1,1) (0.2,0.27,0.3,0.33;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)		(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.77,0.9,0.93,1;1,1) (0.85,0.9,0.93,0.97;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
IPP_1		(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)					
IPP_11	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.27,0.4,0.43,0.53;1,1) (0.33,0.4,0.43,0.47;0.9,0.9)		(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
CP_1	(0,0.067,0.1,0.2;1,1) (0.03,0.067,0.1,0.13;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)					(0.00,0.03,0.05,0.1;1,1) (0.02,0.03,0.05,0.07;0.9,0.9)
CP_2	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.17,0.37,0.42,0.57;1,1) (0.27,0.37,0.42,0.47;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0,0.07,0.1,0.2;1,1) (0.03,0.07,0.1,0.13;0.9,0.9)
CP_3	(0.43,0.63,0.68,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)		(0.63,0.8,0.85,0.97;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)	(0.07,0.23,0.28,0.43;1,1) (0.15,0.23,0.28,0.33;0.9,0.9)	
CP_4		(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)		(0.77,0.9,0.93,1;1,1) (0.85,0.9,0.93,0.97;0.9,0.9)				(0.17,0.37,0.42,0.57;1,1) (0.27,0.37,0.42,0.47;0.9,0.9)	
LGP_1	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.00,0.1,0.15,0.3;1,1) (0.05,0.1,0.15,0.2;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)
LGP_2	(0.5,0.68,0.73,0.867;1,1) (0.6,0.68,0.73,0.783;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.37,0.57,0.62,0.77;1,1) (0.47,0.57,0.62,0.67;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
LGP_3	(0.57,0.75,0.8,0.93;1,1) (0.67,0.75,0.8,0.85;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.68,0.83;1,1) (0.53,0.63,0.68,0.73;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.00,0.03,0.05,0.1;1,1) (0.02,0.03,0.05,0.07;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.48,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.48,0.53;0.9,0.9)

Табела 62. QFD матрица релација: утицај PLM функционалних подручја на имплементацију референтних пракси у развоју нових производа

Подручје оптимизације	PLM функционална подручја								
	FP_1	FP_2	FP_3	FP_4	FP_5	FP_6	FP_7	FP_8	FP_9
P_1.1	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.633;1,1) (0.33,0.43,0.483,0.533;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.950;0.9,0.9)		(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.367,0.567,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.567,0.617,0.667;0.9,0.9)	(0.5,0.683,0.73,0.867;1,1) (0.6,0.683,0.73,0.783;0.9,0.9)	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.167,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.267,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)
P_2.1			(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)		(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.63;1,1) (0.33,0.43,0.483,0.533;0.9,0.9)	(0.167,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.267,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.683,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.683,0.733;0.9,0.9)	
P_3.1			(0.13,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.217,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)			(0.5,0.683,0.73,0.867;1,1) (0.6,0.683,0.73,0.783;0.9,0.9)			
P_3.2		(0.13,0.267,0.3,0.4;1,1) (0.2,0.267,0.3,0.333;0.9,0.9)				(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)			
P_4.1	(0.067,0.233,0.283,0.433;1,1) (0.15,0.23,0.283,0.333;0.9,0.9)	(0.067,0.23,0.283,0.433;1,1) (0.15,0.23,0.283,0.333;0.9,0.9)		(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.167,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.267,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)	(0.067,0.23,0.283,0.433;1,1) (0.15,0.23,0.283,0.333;0.9,0.9)			
P_4.2	(0.23,0.43,0.483,0.633;1,1) (0.33,0.43,0.483,0.533;0.9,0.9)	(0.067,0.23,0.283,0.433;1,1) (0.15,0.23,0.283,0.333;0.9,0.9)	(0.567,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.850;0.9,0.9)		(0.1,0.167,0.183,0.233;1,1) (0.13,0.167,0.183,0.2;0.9,0.9)	(0.067,0.2,0.23,0.333;1,1) (0.13,0.2,0.23,0.267;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.2,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.283,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)
P_4.3							(0,0.067,0.1,0.2;1,1) (0.03,0.067,0.1,0.133;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	
P_5.1	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.850;0.9;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	0.43,0.63,0.683,0.833;1,1) 0.53,0.63,0.683,0.733;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.950;0.9,0.9)	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.1,0.167,0.183,0.233;1,1) (0.13,0.167,0.183,0.2;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) 0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.950;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
P_5.2						(0.1,0.167,0.183,0.233;1,1) (0.13,0.167,0.183,0.2;0.9,0.9)		(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
P_6.1			(0.03,0.1,0.117,0.167;1,1) (0.067,0.1,0.117,0.133;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.167,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.267,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)	(0.367,0.567,0.617,0.767;1,1) 0.47,0.567,0.617,0.667;0.9,0.9)			(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
P_6.2	(0.23,0.43,0.483,0.633;1,1) (0.33,0.43,0.483,0.533;0.9,0.9)	(0.167,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.267,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)			(0.03,0.1,0.117,0.167;1,1) (0.067,0.1,0.117,0.133;0.9,0.9)	(0.567,0.73,0.783,0.9;1,1) (0.667,0.73,0.783,0.833;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.950;0.9,0.9)	(0.83,0.95,0.967,1;1,1) (0.9,0.95,0.967,0.983;0.9,0.9)
P_7.1	(0.567,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.850;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.633;1,1) (0.33,0.43,0.483,0.533;0.9,0.9)	(0.367,0.567,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.567,0.617,0.667;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.633;1,1) (0.33,0.43,0.483,0.533;0.9,0.9)		(0.067,0.2,0.23,0.333;1,1) (0.13,0.2,0.23,0.267;0.9,0.9)	
P_8.1		(0.167,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.267,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)				(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)			
P_8.2	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.85,0.9;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.95;0.9,0.9)		(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.5,0.683,0.73,0.867;1,1) (0.6,0.683,0.73,0.783;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.950;0.9,0.9)	(0.567,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.850;0.9,0.9)
P_9.1	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.567,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.850;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
P_9.2	(0.567,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.850;0.9,0.9)	(0.367,0.567,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.567,0.617,0.667;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.950;0.9,0.9)		(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.367,0.567,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.567,0.617,0.667;0.9,0.9)	(0.567,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.850;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.850,0.9;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.850,0.9;0.9,0.9)
P_10.1	(0.567,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.850;0.9,0.9)	(0.067,0.23,0.283,0.433;1,1) (0.15,0.23,0.283,0.333;0.9,0.9)	(0.567,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.850;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.683,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.683,0.733;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.63,0.8,0.85,0.967;1,1) (0.73,0.8,0.850,0.9;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
P_10.2	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)		(0.167,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.267,0.37,0.417,0.47;0.9,0.9)	(0.367,0.567,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.567,0.617,0.667;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)
P_11.1	(0.1,0.3,0.35,0.5;1,1) (0.2,0.3,0.35,0.4;0.9,0.9)		(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)		0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.567,0.75,0.8,0.933;1,1) (0.667,0.75,0.8,0.850;0.9,0.9)	(0.43,0.63,0.683,0.833;1,1) (0.53,0.63,0.683,0.733;0.9,0.9)	(0.7,0.85,0.9,1;1,1) (0.8,0.85,0.9,0.950;0.9,0.9)
P_13.1	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.167,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.267,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.633;1,1) (0.3,0.43,0.483,0.533;0.9,0.9)	(0,0.067,0.1,0.2;1,1) (0.03,0.067,0.1,0.133;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
P_14.1	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.067,0.23,0.283,0.433;1,1) (0.15,0.23,0.283,0.333;0.9,0.9)	(0.367,0.567,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.567,0.617,0.667;0.9,0.9)		(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.633;1,1) (0.33,0.43,0.483,0.533;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)
P_15.1	(0.167,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.267,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)					(0.23,0.43,0.483,0.633;1,1) (0.33,0.43,0.483,0.533;0.9,0.9)	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)
P_16.1	(0.3,0.5,0.55,0.7;1,1) (0.4,0.5,0.55,0.6;0.9,0.9)	(0.367,0.567,0.617,0.767;1,1) (0.47,0.567,0.617,0.667;0.9,0.9)	(0.167,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.267,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.9,1,1,1;1,1) (0.95,1,1,1;0.9,0.9)	(0.167,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.267,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)	(0.167,0.367,0.417,0.567;1,1) (0.267,0.367,0.417,0.47;0.9,0.9)	(0.5,0.7,0.75,0.9;1,1) (0.6,0.7,0.75,0.8;0.9,0.9)	(0.23,0.43,0.483,0.633;1,1) (0.33,0.43,0.483,0.533;0.9,0.9)

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Сања Пузовић је рођена у Пријеполу, 1989. године, где је одрасла и завршила основно и средњошколско образовање. Током основне и средње школе била је носилац дипломе *Вук Караџић* као и дипломе *Ученик генерације* за средњу школу.

Основне академске студије уписује 2009. године на Техничком факултету Чачак на студијском програму Инжењерски менаџмент, исте је завршила 2012. године са просечном оценом 9,67. Други ниво студија похађа на истом Факултету, на студијском програму Инжењерски менаџмент. Мастер рад на тему *Утицај типа тока израде серије на дужину производног циклуса у условима индустријске производње* одбранила је 2015. године, чиме је стекла звање *мастер инжењер менаџмента*, са просечном оценом 10 у току студија.

Током студија два пута је била стипендиста Фонда за младе таленте – стипендија *Доситеја*, као и добитник *Стипендије Универзитета у Крагујевцу за најбоље студенте завршне године основних академских студија за школску 2012/13. годину*. Носилац је и награде најбољег дипломираног студента у школској 2011/12. години на студијском програму Инжењерски менаџмент.

Докторске студије је уписала школске 2016/17. године на Факултету техничких наука у Чачку на студијском програму Инжењерски менаџмент. У свом досадашњем научноистраживачком раду публиковала је и приказала више од 30 научних радова у области инжењерског менаџмента, од чега пет у међународним научним часописима индексираним на SCI листи, једно поглавље у тематском зборнику међународног значаја и преко 20 радова приказаних на међународним и националним научним скуповима.

Учествовала је у реализацији научноистраживачког пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја, као члан истраживачког тима на пројекту: *Развој стохастичког модела утврђивања елемената времена рада производног циклуса и њихова оптимизација за серијску производњу у металопрерађивачкој индустрији и у процесима рециклаже*.

Од 2015. године је ангажована на Факултету техничких наука у Чачку, Катедра за индустријски менаџмент, најпре у звању сарадник у настави, а затим и као асистент за ужу научну област Менаџмент и операциона истраживања. Године 2021. изабрана у звање асистент за научну област Индустријско инжењерство/инжењерски менаџмент, ужа научна област Инжењерски менаџмент.

Ангажована је на извођењу вежби на предметима основних академских студија: Индустријски менаџмент, Организација производње, Моделирање пословних процеса, Развој нових производа, Операциона истраживања, Лидерство и тимски рад, Организација рада, Теорија организације и Менаџмент пројектима, као и на предметима мастер академских студија: Вишекритеријумско одлучивање и Менаџмент производа.

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ ПРИСТУП РАЗВОЈУ ОПТИМАЛНОГ МОДЕЛА ПРОЦЕСА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ PLM КОНЦЕПТА

представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Чачку, 30. април 2025. године,



потпис аутора

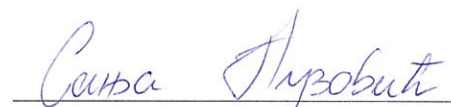
**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСЛОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да су штампана и електронска верзија докторске дисертације под насловом:

**ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ ПРИСТУП РАЗВОЈУ ОПТИМАЛНОГ МОДЕЛА
ПРОЦЕСА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ PLM КОНЦЕПТА**

истоветне.

У Чачку, 30. април 2025. године,


потпис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Сања Б. Пузовић

☒

дозвољавам

☐

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКИ ПРИСТУП РАЗВОЈУ ОПТИМАЛНОГ МОДЕЛА ПРОЦЕСА ИМПЛЕМЕНТАЦИЈЕ PLM КОНЦЕПТА

и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

☒

дозвољавам

☐

не дозвољавам

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

1) Ауторство

2) Ауторство - делити под истим условима

3) Ауторство - без прерада

4) Ауторство - некомерцијално

5) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима

6) Ауторство - некомерцијално - без прерада

У Чачку, 30. април 2025. године.


потпис аутора