



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА



**МОДЕЛИМА ВОЂЕН
ПРИСТУП АУТОМАТИЗАЦИЈИ
УПРАВЉАЊА ЉУДСКИМ
РЕСУРСИМА У ПРОИЗВОДНИМ
СИСТЕМИМА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ментор:
проф. др Дарко Стефановић

Кандидат:
Дајана Антанасијевић

Нови Сад, 2026. године

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА¹

Врста рада:	Докторска дисертација
Име и презиме аутора:	Дајана Антанасијевић
Ментор (титула, име, презиме, звање, институција):	др Дарко Стефановић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
Наслов рада:	Моделима вођен приступ аутоматизацији управљања људским ресурсима у производним системима
Језик и писмо рада:	Српски језик, ћирилично писмо
Физички опис рада:	Унети број: Страница 170 Поглавља 8 Референци 160 Табела 16 Слика 28 Графикона 0 Прилога 1
Научна област:	Индустријско инжењерство и инжењерски менаџмент
Ужа научна област (научна дисциплина):	Информационо-комуникациони системи
Кључне речи / предметна одредница:	<i>Model-Driven Engineering</i> , <i>DSML</i> , <i>HResModLan</i> , моделовање човека, управљање људским ресурсима, Индустрија 4.0, Индустрија 5.0, паметне фабрике
Апстракт на језику рада:	У оквиру дисертације проучава се могућност примене моделима вођеног приступа у управљању људским ресурсима у производним системима. Анализирају се изазови моделовања људских ресурса у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0 и идентификују кључни аспекти које је потребно формално представити. Предложено решење заснива се на доменски специфичном језику за моделовање <i>HResModLan</i> , који омогућава спецификацију организационих улога, компетенција, способности и ограничења радника. Предложени језик и алат за моделовање евалуирани су кроз студију случаја и експеримент, чиме је потврђена њихова применљивост у моделовању људских ресурса у савременим производним системима.
Датум прихватања теме од стране надлежног већа:	18.01.2026.
Датум одбране: (Попуњава накнадно институција)	

¹ Аутор докторске дисертације потписао је и приложио следеће Обрасце:

5б – Изјава о ауторству;

5в – Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и дозвола за објављивање личних података;

5г – Изјава о коришћењу.

Ове Изјаве се чувају у институцији у штампаном и електронском облику и не кориче се са радом.

<p>Чланови комисије: (титула, име, презиме, звање, институција)</p>	<p>Председник: др Ђорђе Пржуљ, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: др Милан Ђатовић, редовни професор, Криминалистичко-полицијски универзитет, Београд Члан: др Ивана Катић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: др Теодора Вучковић, доцент, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: др Мирослав Стефановић, доцент, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Члан: др Душанка Дакић, доцент, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду Ментор: др Дарко Стефановић, редовни професор, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду</p>
<p>Напомена:</p>	

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES**

KEY WORD DOCUMENTATION²

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Dajana Antanasijević
Supervisor (title, first name, last name, position, institution)	Dr Darko Stefanović, Full Professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad
Thesis title in English:	Model-Driven Approach to Automation of Human Resource Management in Manufacturing Systems
Language and script:	Serbian language, Cyrillic script
Physical description:	Number of: Pages 170 Chapters 8 References 160 Tables 16 Illustrations 28 Graphs 0 Appendices 1
Scientific field:	Industrial Engineering and Engineering Management
Scientific subfield (scientific discipline):	Information and Communication Systems
Subject, Key words:	Model-Driven Engineering, DSML, HResModLan, human resource modelling, Industry 4.0, Industry 5.0, smart manufacturing
Abstract in English:	This dissertation investigates the possibility of applying a model-driven approach to human resource management in manufacturing systems. The challenges of modeling human resources in the context of Industry 4.0 and Industry 5.0 are analyzed, and the key aspects that need to be formally represented are identified. The proposed solution is based on the domain-specific modeling language HResModLan, which enables the specification of organizational roles, competencies, capabilities, and worker limitations. The proposed language and modeling tool were evaluated through a case study and an experiment, confirming their applicability for modeling human resources in modern manufacturing systems.
Date of endorsement by the scientific board:	18.01.2026.
Date of defence: (Filled in by the institution)	

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

56 – Statement on the authorship,

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

5r – Copyright statement.

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

<p>Thesis defence board: (title, first name, last name, position, institution)</p>	<p>Chair: Dr Đorđe Pržulj, Full Professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Member: Dr Milan Gnjatović, Full Professor, University of Criminal Investigation and Police Studies, Belgrade Member: Dr Ivana Katić, Full Professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Member: Dr Teodora Vučković, Assistant Professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Member: Dr Miroslav Stefanović, Assistant Professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Member: Dr Dušanka Dakić, Assistant Professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad Mentor: Dr Darko Stefanović, full professor, Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad</p>
<p>Note:</p>	

Захвалност

Ову докторску дисертацију посвећујем својој породици, која ми је током читавог процеса истраживања и писања пружала безусловну љубав, стрпљење и подршку.

Посебну захвалност желим да упутим проф. др Соњи Ристић, са којом сам започела рад на овој теми и направила прве кораке у истраживању које је довело до настанка ове дисертације. Њено знање, подршка и смернице током почетних фаза докторских студија представљали су драгоцену основу за даљи развој мог научног рада.

Велику захвалност дугујем и свом ментору проф. др Дарку Стефановићу, који ме је прихватио као докторанда и наставио рад са мном на овој теми. Његова подршка, стрпљење и конструктивни савети били су од изузетног значаја за успешно привођење крају овог истраживања и израду ове дисертације.

Посебно се захваљујем доц. др Марку Вијештици на несебичној помоћи, подршци и охрабрењу које ми је пружао током читавог процеса израде докторске дисертације. Његова спремност да подели своје знање, искуство и време значајно је допринела превазилажењу бројних изазова током овог истраживања.

На крају, највећу захвалност дугујем својој породици. Хвала мом супругу Вукашину на разумевању, стрпљењу и непрекидној подршци током свих година мог рада и усавршавања. Посебну радост и снагу даје ми мој син Игњат, који је био моја највећа мотивација и инспирација.

Резиме

Производња представља сложену социо-техничку активност у којој људи, машине и дигитални системи сарађују у циљу стварања производа и услуга. У савременим производним окружењима, посебно у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, улога човека у производним системима се значајно мења. Уместо да буду искључиво оператери или надзорници аутоматизованих система, људски ресурси постају активни учесници у паметним производним окружењима, где њихове компетенције, способности и ограничења морају бити систематично узети у обзир приликом планирања и извршавања производних процеса.

У традиционалним производним системима управљање људским ресурсима углавном се спроводи ручно и подржано је хетерогеним информационим системима који не обезбеђују јединствену формалну репрезентацију радника, њихових улога, компетенција и ограничења. Такав приступ отежава интеграцију информација о људским ресурсима са производним процесима и технолошким ресурсима. Поред тога, растућа сложеност и варијабилност савремених производних система захтевају флексибилније и систематичније методе за представљање и управљање људским ресурсима.

У циљу превазилажења ових изазова, у дисертацији се истражује примена принципа моделима вођеног инжењерства (енгл. *Model-Driven Engineering*, MDE) у управљању људским ресурсима у производним системима. Предложено решење заснива се на доменски специфичном језику за моделовање под називом *HResModLan* (енгл. *Human Resource Modeling Language*), који омогућава формално и систематско моделовање људских ресурса у индустријским окружењима. Језик *HResModLan* омогућава моделовање људских ресурса из организационе и производне перспективе, укључујући спецификацију организационе структуре, улога, компетенција, способности и ограничења радника која утичу на њихово учешће у производним процесима.

Предложени језик имплементиран је у оквиру моделима вођеног окружења и подржан одговарајућим алатом за моделовање. Модели креирани применом језика *HResModLan* представљају машински читљиве артефакте који се могу користити за представљање знања, анализу и аутоматизовану обраду у производним системима. На овај начин омогућава се боља интеграција људских ресурса са организационим и производним моделима.

Применљивост и квалитет предложеног језика и алата за моделовање евалуирани су кроз студију случаја и експеримент у коме су учествовали представници индустрије, академске заједнице и студенти из области информационих технологија. Резултати показују да предложени приступ омогућава систематично и експресивно моделовање људских ресурса у савременим производним системима и доприноси интеграцији знања о људским ресурсима у оквиру моделима вођених инжењерских окружења.

Основни допринос овог истраживања огледа се у дефинисању новог методолошког приступа и доменски специфичног језика за моделовање људских ресурса у окружењима Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0.

Кључне речи: моделовање људских ресурса, Индустрија 4.0, Индустрија 5.0, доменски специфични језици, моделима вођено инжењерство, производња.

Summary

Manufacturing is a complex socio-technical activity in which human workers, machines, and digital systems collaborate to produce goods and services. In contemporary manufacturing environments, particularly within the context of Industry 4.0 and Industry 5.0, the role of humans in production systems is evolving. Instead of being only operators or supervisors of automated systems, human workers are becoming active participants in smart production environments where their competencies, capabilities, and limitations must be systematically considered during production planning and execution. Consequently, managing and modeling human resources in modern manufacturing systems becomes a challenging task.

In traditional manufacturing systems, human resource management is mostly performed manually and supported by heterogeneous information systems that do not provide a unified formal representation of workers, their roles, competencies, and constraints. Such an approach makes it difficult to integrate human-related information with production processes and technological resources. Additionally, the increasing complexity and variability of modern production systems require more flexible and systematic methods for representing and managing human resources.

To address these challenges, this dissertation investigates the application of Model-Driven (MD) principles to human resource management in manufacturing systems. The proposed solution is based on a domain-specific modeling language (DSML) called HResModLan (Human Resource Modeling Language), designed to enable formal and systematic modeling of human workers in industrial environments. HResModLan allows human resources to be modeled from both organizational and production perspectives, enabling the specification of organizational structures, roles, competencies, capabilities, and limitations that influence workers' participation in production processes.

The language is implemented within a model-driven environment and supported by a dedicated modeling tool. Models created using HResModLan serve as machine-readable artifacts that can be used for knowledge representation, analysis, and automated processing in manufacturing systems. By providing a structured representation of human-related aspects of production systems, the proposed approach facilitates a better integration of human resources with organizational and production models.

The applicability and quality of the proposed language and modeling tool are evaluated through a case study and an experimental study involving participants from industry, academia, and students from the domain of information technology. The results indicate that the proposed approach enables systematic and expressive modeling of human resources in modern manufacturing systems and supports the integration of human-related knowledge within model-driven engineering environments.

The main contribution of this research is the definition of a novel methodological approach and a domain-specific modeling language for representing human resources in Industry 4.0 and Industry 5.0 environments, contributing to the digital transformation of manufacturing systems and the development of human-centric production.

Keywords: Human Resource Modeling; Industry 4.0; Industry 5.0; Domain-Specific Modeling Language; Model-Driven Engineering; Human-Centric Manufacturing

Садржај

Захвалност	V
Резиме	I
Summary	II
Садржај	III
Листа табела	V
Листа слика	VI
Листа скраћеница	VII
1 Уводна разматрања	1
1.1 Мотивација, дефинисање и опис проблема	4
1.2 Циљеви, обим и ограничења истраживања	7
1.3 Очекивани резултати истраживања и научни допринос дисертације	9
1.4 Структура дисертације	10
2 Теоријске подлоге и стање у области	12
2.1 Индустрија 4.0/Индустрија 5.0	13
2.2 Улога човека кроз индустријске револуције	18
2.3 MD принципи	22
2.4 Језици наменски за домен	26
2.5 Преглед постојећих DSML-ова за моделовање човека у организацији и производњи	28
2.6 Проблеми у постојећим DSML-овима за моделовање човека у организацији и производњи	30
2.7 Резиме стања у области и постојећих DSML-ова	32
3 Методологија истраживања	36
3.1 Приказ активности у оквиру процеса истраживања	40
3.2 Предлог архитектуре MD решења	42
4 Моделовање човека у Индустрији 4.0/Индустрија 5.0 – анализа домена	47
4.1 Основни FODA концепти	47
4.2 Анализа домена	48
4.2.1 FODA модели домена и њихова интерпретација	51
4.3 Резиме резултата анализе домена	66
4.4 Захтеви које мора да испуни језик за моделовање човека у организацији и производњи	67
5 Предлог модела DSML-а за моделовање човека у Индустрији 4.0 и Индустрији 5.0	71
5.1 Апстрактна синтакса језика	72
5.1.1 Моделовање човека као учесника у организацији	73
5.1.2 Моделовање човека као учесника у процесу производње ..	82
5.2 Конкретна синтакса језика	94
5.3 HResModLan алат за моделовање	116
5.4 Примена <i>HResModLan</i> алата у генерисању инструкција и документације	119
5.4.1 Генератор инструкција за запослене	120
5.4.2 Генератор пословне документације	122
6 Примена и анализа MD решења и DSML-а	124
6.1 Случај употребе	124
6.2 Евалуација језика <i>HResModLan</i> и алата за моделовање	131

6.2.1	Утврђивање циљева експеримента и хипотеза	132
6.2.2	Учесници експеримента	134
6.2.3	Припрема и извођење експеримента.....	135
6.2.4	Резултати истраживања и анализа резултата	137
6.2.5	Сажетак евалуације.....	145
6.3	Ограничења	146
6.4	Анализа MD решења и дискусија хипотеза	146
6.5	Резиме резултата евалуације и дискусије	148
7	Закључак и даљи правци развоја.....	149
7.1	Будућа истраживања у домену моделовања човека у контексту Индустрије 4.0 и Индустије 5.0	149
7.2	Будући развој DSML-а и алата за моделовање човека	150
7.3	Нови домени примене	150
7.4	Закључак.....	151
8	Литература.....	153
Додатак А		162
Додатак А.1. Задатак експеримента		162
Додатак А.2. Решење задатака експеримента		166
Додатак А.3. Упитник за евалуацију експеримента		168
План третмана података.....		171

Листа табела

Табела 1 – Поређење Индустије 4.0 и Индустије 5.0.....	17
Табела 2 – Поређење приступа за моделовање човека у индустријским системима.....	30
Табела 3 – Поређење постојећих DSML приступа за моделовање човека у индустријским системима	33
Табела 4 – Графички елементи конкретне синтаксе језика <i>HResModLan</i>	96
Табела 5 – Испуњење захтева језика и резултујући моделни артефакти	102
Табела 6 – Пример радних места и захтева у организационој структури фабрике декоративне амбалаже	126
Табела 7 – Компетенције и квалификације запослених	127
Табела 8 – Процесни кораци, ресурси и ограничења	129
Табела 9 – Структура учесника експеримента	134
Табела 10 – Претходно искуство учесника	138
Табела 11 – Функционална прикладност (<i>Functional Suitability</i>)	138
Табела 12 – Употребљивост (<i>Usability</i>).....	139
Табела 13 – Поузданост (<i>Reliability</i>).....	140
Табела 14 – Експресивност (<i>Expressiveness</i>)	140
Табела 15 – Продуктивност (<i>Productivity</i>)	140
Табела 16 – Спирманови коефицијенти ранг корелације и р-вредности за изабране парове питања евалуације језика <i>HResModLan</i>	141

Листа слика

Слика 1 – Концептуални приказ разлика између Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0.....	16
Слика 2 – Еволуција индустријских револуција и улоге човека у производном процесу.....	18
Слика 3 – Трансформација улоге човека од физичког радника до партнера интелегентних система.....	22
Слика 4 – Однос између MDE, MDSE, MDD и MDA.....	23
Слика 5 – Четворослојна архитектура мета-нивоа.....	24
Слика 6 – Однос између језика за моделовање опште намене (GPML) и језика наменских за домен (DSML/DSL).....	27
Слика 7 – Модел DSRM процеса (прилагођено из [135]).....	37
Слика 8 – Предложена архитектура MD решења.....	45
Слика 9 – FODA модел организације (<i>Organization</i>).....	54
Слика 10 – FODA модел организационе јединице (<i>Organization Unit</i>).....	56
Слика 11 – FODA модел запосленог (<i>Employee</i>).....	58
Слика 12 – FODA модел конфигурације производног система (<i>Production System Configuration</i>).....	60
Слика 13 – FODA модел извршења производње и интеракције (<i>Production Execution Model</i>).....	62
Слика 14 – FODA модел управљања знањем, иновацијама и унапређењима (<i>System Evolution Model</i>).....	64
Слика 15 – Архитектура језика заснована је на принципима MD инжењерства.....	71
Слика 16 – Мета-модел организационе структуре.....	74
Слика 17 – Мета-модел радно-правног и нормативног оквира.....	78
Слика 18 – Мета-модел запосленог и његових компетенција.....	80
Слика 19 – Мета-модел формализације структурне архитектуре производног система.....	84
Слика 20 – Мета-модел оперативне способности и услова ангажовања радника.....	88
Слика 21 – Мета-модел формализације процесног учешћа и евалуације рада усмерене на човека.....	92
Слика 22 – Кориснички интерфејс алата <i>HResModLan</i>	117
Слика 23 – Палета елемената језика.....	118
Слика 24 – Механизам приказа и сакривања елемената.....	118
Слика 25 – Генерисање документације.....	119
Слика 26 – Пример генерисане инструкције за запосленог у форми електронске поште.....	121
Слика 27 – Пример генерисане документације систематизације радних места.....	123
Слика 28 – Решење задатка експеримента.....	167

Листа скраћеница

AI – Artificial Intelligence
BPMN – Business Process Modeling Notation
CC – Cloud Computing
CIM – Computation Independent Model
CPS – Cyber-Physical Systems
CSCW – Computer-Supported Cooperative Work
DHM – Digital Human Modeling
DSML – Domain-Specific Modeling Language
DSL – Domain-Specific Language
DSR – Design Science Research
DSRM – Design Science Research Methodology
EC – Edge Computing
EMF – Eclipse Modeling Framework
EPC – Event-Driven Process Chains
FODA – Feature-Oriented Domain Analysis
FORM – Feature-Oriented Reuse Method
FQAD – Framework for Qualitative Assessment of Domain-Specific Languages
GAMA – GIS Agent-based Modeling Architecture
HCI – Human-Computer Interaction
HMI – Human-Machine Interaction
HRM – Human Resource Management
HRI – Human-Robot Interaction
H-CPPS – Human-Cyber-Physical Production Systems
IIoT – Industrial Internet of Things
IoT – Internet of Things
IT – Information Technology
M2T – Model-to-Text
MDA – Model-Driven Architecture
MDD – Model-Driven Development
MDE – Model-Driven Engineering
MDSE – Model-Driven Software Engineering
MDSEA – Model-Driven Service Engineering Architecture
MDSO – Model-Driven Software Development
ML – Machine Learning
MOF – Meta-Object Facility
MOST – Maynard Operation Sequence Technique
MTM – Methods-Time Measurement
OCL – Object Constraint Language
OMG – Object Management Group
PIM – Platform Independent Model
PLC – Programmable Logic Controller
PSM – Platform Specific Model
SBPM – Subject-Oriented Business Process Management
SEI – Software Engineering Institute
SPLE – Software Product Line Engineering
TIM – Technology Independent Model
TSM – Technology Specific Model
UML – Unified Modeling Language

1 Уводна разматрања

Опстанак људи условљен је задовољењем њихових потреба, што усмерава активности појединаца или организација ка производњи добара различитих врста, која се могу размењивати уз посредство тржишта. Производња се најчешће дефинише као сврсисходна људска делатност која је усмерена ка добијању употребних вредности и присвајању природних ресурса за људске потребе. Зеленовић у [1] дефинише производњу као “основно подручје људске делатности неопходно за задовољење потреба учесника у процесима рада, радних система и стабилног развоја друштва у складу са утврђеним циљевима. Производња је условљена постојањем скупа елемената (предмета рада, средстава рада и учесника у процесима рада) међусобно повезаних у складу са пројектованим поступцима промене стања са једне и улагањем људског рада са друге стране, односно условљена постојањем система за производњу обликованог тако да обезбеди трансформацију расположивих ресурса у производе у складу са датим потребама”.

Производња, било да се ради о материјалној или нематеријалној производњи, представља најважнију фазу у процесу друштвене репродукције, јер је она материјална основа за функционисање осталих друштвених процеса и активности. Производња се извршава у различитим условима и може бити сопствена, занатска или индустријска. У овом раду фокус је на индустријској производњи. Предмети рада, средства рада и производни ресурси организовани су у јединствени индустријски производни систем. Ти системи су трансформационе природе, што значи да им је основни задатак да трансформишу улазе попут: материјала (сировине, компоненте производа, производи), енергије, рада (људског и машина), финансијских средстава и информација и знања у излазне елементе, производе. Излазни елементи могу бити хардверски производи, софтверски производи, процесни производи или услуге. Модели трансформација су веома сложени и тешко их је формално представити. Сама производња реализује се кроз бројне технолошке процесе у којима постоји кретање материјала (материјални токови) и кретање информација (информациони токови).

Гледано са економског аспекта, несумњиво је да је производња веома важан процес за сваку земљу, јер и животни стандард друштва, као и степен економског развоја који се може постићи, зависе од добара и услуга доступних потрошачима. Што се више роба и услуга производи у оквиру економских активности, то је већи ниво потрошње. Сходно томе, што је нижи ниво производње, то је мања могућност задовољења потреба. На исти начин, производња генерише приход који се распоређује међу учесницима економске активности. Виши ниво производње генерише већи реални приход и последично већу куповну моћ становништва. С друге стране, ако су реални приходи високи, ниво потрошње ће вероватно бити висок јер је производња донела више производа привреди.

Производња као техничка функција може бити посматрана кроз различите врсте производње попут појединачне, масовне и серијске.

Појединачна производња оријентисана је на производњу малих количина производа, и то по наруџбинама. Појединачна производња реализује се, по правилу, без залиха готових производа, за познатог купца. Средства рада су флексибилна и универзална, а стандардизација поступака рада и подела рада су на ниском нивоу. Радна снага је квалификована или високо квалификована, јер често мора да решава различите проблеме на различитим производима, који се по правилу не понављају.

Масовна производња се карактерише по производњи једног производа или сличних производа у великим количинама. Средства рада су наменска, продуктивна и

на високом степену аутоматизације. Стандардизација поступака рада и подела рада су на изузетно високом нивоу. Резултат производње је производ за непознатог купца, што захтева перманентно истраживање очекиване тражње. Масовна производња је, по правилу, радно-екстензивна делатност која не захтева висок степен квалификације и обучености радника. Овај тип производње тежак је за раднике, између осталог због монотоније изазване дугогодишњим обављањем истих или сличних операција.

Серијска производња је такав вид производње који се сврстава између појединачне и масовне производње. Овде се производи не израђују појединачно, ни континуално, али ни масовно, већ у одређеном броју, односно серији. Средства рада су довољно флексибилна и универзална, стандардизација поступака рада и подела рада је на вишем нивоу него код појединачне, али мања него код масовне производње. Радна снага у серијској производњи је квалификованија у односу на радну снагу у масовној производњи. Неке од карактеристика серијске производње у контексту радника су да се захтева нижи степен стручности радника у односу на појединачну производњу, што је условљено детаљном техничком припремом и смањеним бројем операција који обавља један радник. Радна места и задаци појединих радника унапред се дефинишу, што позитивно утиче на ниво организованости и продуктивности.

Процес производње се значајно мењао током времена. Саме врсте производње такође су условљене технолошким изумима који су настали током времена и својим настајањем утицали и изазвали промене које су означене као индустријске револуције. Индустријске револуције укључују фундаменталне промене, мењајући различите аспекте друштва, као што су производња и економија. Заједнички циљ иновација које су иницирале индустријске револуције био је повишење степена аутоматизације производног процеса, а тиме и ефикасности производње и квалитета производа.

Прва индустријска револуција везује се за појаву парне машине крајем седамнаестог века. Развој и примена машина која користе енергију паре, воде и ветра омогућила је прелаз са ручних производних процеса, на машинску производњу. На тај начин омогућена је бржа производња добара чији квалитет је био унапређен захваљујући смањењу броја људских грешака. Развој и унапређење средстава за транспорт робе смањило је време потребно да производи стигну до потрошача.

Другу половину и крај деветнаестог века карактерише почетак примене електричне енергије, проналазак нафте и појава првих мотора са унутрашњим сагоревањем што доводи до друге индустријске револуције. Нови извори енергије, даље унапређење транспорта и комуникација и раст тржишта довеле су до велике акумулације производних и људских ресурса у фабрикама. То је иницирало потребу бољег разумевања начина на који би се ресурсима могло успешно управљати. Амерички инжењер Фредерик Тејлор истакао је нужност коришћења науке и савремених метода обављања и организовања пословања. Његови принципи поделе рада и проналажења најбољег начина за обављање неког посла, као и развој метода селекције, обуке и мотивације радника значајно су допринели повећању продуктивности.

Трећа индустријска револуција била је омогућена развојем електронике и информационих технологија (енгл. *Information Technology*, IT) почев од шездесетих година двадесетог века. Појава првих програмабилних логичких контролера (енгл. *Programmable Logic Controller*, PLC) значајно је утицала на увођење дигитализације у процесе производње. То је довело до даље аутоматизације процеса производње са циљем да се још више смањи удео људског рада. Машине ипак и даље нису биле у потпуности независне, нити самоприлагодљиве варијацијама у производним процесима.

Иновације које су иницирале прве три индустријске револуције довеле су до повишење степена аутоматизације производног процеса, а тиме и ефикасности производње и квалитета производа. Тржиште је, међутим, временом постало засићено производима масовне и серијске производње и указала се значајна потреба за увођењем варијација производа и њиховом персонализацијом. Произвођачи су морали да обратe више пажње на разноврсност производа које нуде на тржишту, вредност коју креирају за купца, као и поштовање рокова испоруке. То значи да је потребно да се производи само оно што се тражи од стране тржишта и то у најмањим могућим серијама, са “нула грешака”, са најкраћим могућим циклусом израде, без залиха готових производа, ниским трошковима, високим искоришћењем капацитета уз ангажовани однос свих запослених и са веома израженом сарадњом и поверењем купаца и продаваца са једне и произвођача и добављача са друге стране. Да би све ово било могуће производни системи морају постати знатно флексибилнији уз значајно унапређење односа и комуникације између производних ресурса, како материјалних (машине, роботи, предмети рада) тако и људских, што захтева даље унапређење дигитализације производње.

Четврта индустријска револуција или Индустрија 4.0 (нем. *Industrie 4.0*) како је називају Кагерман и сарадници у [2] где предлажу идеје како да се ојача конкурентност Немачке производне индустрије, везује се за почетак XXI века. Тада компаније уочавају императив преласка са масовне производње на масовно прилагођавање потребама и жељама купаца. Напредне технологије у виду паметних ресурса и паметних производа представљају основу Индустрије 4.0, омогућавајући брже промене у фабрикама и производњи.

Циљеви Индустрије 4.0 су да:

- обезбеди масовно прилагођавање производа помоћу примене ИТ-а;
- изврши аутоматско и флексибилно прилагођавање производње;
- праћење делова и производа током производње;
- олакша комуникацију између делова, производа, машина, робота и човека;
- унапреди интеракцију човек-машина (енгл. *Human-Machine Interaction*, HMI) и омогући безбедност људи и машина које раде заједно у непосредној близини [3];
- постигне оптимизацију производње у фабрикама кроз примену интернета ствари (енгл. *Internet of Things*, IoT);
- пружи нове врсте услуга и пословних модела;
- уштеди енергију и смањи време испоруке, трошкова и отпада; и
- побољша квалитет производа и ефикасност производње [1], [2], [4].

Једно од могућих решења које би омогућило ефикасну производњу високо прилагођених производа уз минимално време чекања је примена оркестрације ресурса производње на вишем степену апстракције. Аутори су у [5], [6], [7] предложили оквир за формални опис и аутоматско извршавање производних процеса. Оквир је базиран на принципима моделима вођеног инжењерства (енгл. *Model-Driven Engineering*, MDE), који ће у даљем тексту бити означени као MD принципи, и примени језика наменских за домен (енгл. *Domain-Specific Modeling Language*, DSML). Као централни артефакт предложеног MD оквира креиран је језик наменски за домен *MultiProLan* (енгл. *Multi-Level Production Process Modeling Language*) који омогућава: 1) формалну спецификацију производних процеса на различитим нивоима апстракције; 2) аутоматско генерисање инструкција за паметне ресурсе (енгл. *smart resources*) укључујући и раднике; и 3) прикупљање повратних информација током извршења производних процеса. *MultiProLan* у овом тренутку доминантно је усмерен на

моделовање паметних машина и робота, при чему фокус није на моделовању човека у контексту организације и у контексту производње.

Индустрија 4.0 је углавном фокусирана на технички аспект производње и на њену аутоматизацију, а мање на људски фактор, друштво и животну средину. Визија индустрије 4.0 о замени људских радника роботима није у потпуности одржива. Различита истраживања указују на значај човека у производним процесима и потребу њиховог максималног укључивања у радне процесе [8], [9], [10].

Потреба додатних преиспитивања улоге човека у Индустрији 4.0 довела је до померања ка визији названој Индустрија 5.0.

Индустрија 5.0 допуњује Индустрију 4.0 фокусирајући се на приступ усредсређен на човека који ставља основне људске потребе и интересе у фокус производног процеса, у жељи да се оствари коегзистенција индустрије, друштва и животне средине. Људски фактор у Индустрији 5.0 се не сматра трошком и људски капитал се много више валоризује и цени него током претходних револуција. Фокус Индустрије 5.0 је на развоју људских ресурса кроз континуирано образовање, учење и обуку [11].

У контексту свега наведеног улога човека у паметним фабрикама је веома специфична и захтева да се посебна пажња посвети његовим различитим аспектима попут: вештина, компетенција, знања, способности, ограничења, мотивације као и разних здравствених и правних аспеката човека у оквиру организације и производње. У том смислу у овом раду предлаже се истраживање које представља наставак истраживања презентованих у [5], [6]. Основни циљ истраживања је да се применом MD принципа и креирањем DSML језика за моделовање човека, у контексту организације и у контексту производње, омогући моделовање флексибилне организационе структуре, ефикасније управљање људским ресурсима и додатно унапреди оркестрација ресурса у оквиру паметних фабрика, имајући у виду визије Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0.

1.1 Мотивација, дефинисање и опис проблема

Моделовање производних процеса у Индустрији 4.0/Индустрији 5.0 је важна тема у истраживањима везаним за информационе технологије и развој производње кроз индустријске револуције. Увек када је реч о производним процесима у савременом добу, акценат се ставља на флексибилну производњу која се може омогућити применом информационих технологија и која би њиховим коришћењем омогућила аутоматско генерисање кода за извођење процесних корака у процесу производње, а да при томе омогући претходно споменуто флексибилност производње. Кроз симулације производног процеса могу се утврдити разни недостаци у производњи као и места где је унапређење могуће и где га треба применити.

Једна од важних потреба у оквиру Индустрије 4.0 је да се омогући производња различитих варијација производа без заустављања производње како би се постигла флексибилност у производним системима. Један од начина да се произведу високо прилагођени производи са минималним временом мировања је примена оркестрације вишег нивоа апстракције. Под оркестрацијом у овом раду подразумевамо различите активности планирања и доделе оперативних корака конкретним производним ресурсима.

Да бисмо омогућили оркестрацију на вишем нивоу апстракције, у [5] је предложен оквир за формални опис и аутоматско извршавање производних процеса. Предложени оквир је заснован на принципима моделима вођеног инжењерства и језику за моделовање наменском за домен који се користи за формално специфицирање производног система и производних процеса. Модели генерисани

применом оваквог језика омогућавају аутоматско генерисање инструкција за паметне машине или људске раднике и прикупљање повратних информација од њих током извршења процеса.

У истраживањима представљеним у [5], [6], [7], [12], [13] акценат је на моделовању производних процеса путем наменски креираног језика за моделовање *MultiProLan*. Овај језик подржава моделовање производних процеса на два нивоа апстракције. На вишем нивоу апстракције производни процеси се моделују независно од конкретног производног система. Језик *MultiProLan*, поред тога, омогућава и моделовање производних процеса за конкретни производни систем чиме подржава флексибилно и аутоматизовано распоређивање производних ресурса на пословне процесе и конкретне процесне кораке. Како би ово распоређивање ресурса било адекватно и сами производни ресурси морају бити моделовани на потребном нивоу детаљности. Управо због тога настављена су истраживања презентована, између осталог, у [5], [6], [7], [12], [13] са циљем да се креира фамилија DSML-а, у којој би, поред већ креираног *MultiProLan* језика, били и језици који би подржали моделовање компоненти производног система. У том смислу посебно се, као специфични, издвајају људски ресурси које је потребно моделовати у различитим контекстима. Истраживања која се предлажу у овом раду усмерена су управо ка развоју DSML-а који би омогућио моделовање радника у организационом и производном контексту. Модели добијени применом оваквог језика омогућили би додатну флексибилност и аутоматизацију активности распоређивања радника на одговарајуће пословне процесе и процесне кораке. На тај начин би се постигла боља интеграција човека и машина у паметним фабрикама [14].

Постоји много истраживачких пројеката који имају за циљ дефинисање и имплементацију концепата Индустрије 4.0 [15]. Међутим, неки системски прегледи литературе, попут [16] указују на то да нема превише радова који су фокусирани на употребу информационих технологија у производним и управљачким процесима и Индустрији 4.0 са освртом на човека и његову улогу у тој индустрији. Аутори у [16] постављају питања управо о томе шта је кључна улога човека у овој индустрији. Они долазе до закључка да је могуће идентификовати тренд раста броја објављених радова у области улоге човека у Индустрији 4.0 у периоду 2019–2020. у односу на период 2010–2012. Упркос овом расту, многа истраживачка питања и даље остају без одговора и постоји много изазова који још увек нису решени.

Улоге човека су се значајно мењале током индустријских револуција, али се најзначајнија промена у том сегменту догодила са појавом Индустрије 4.0 [8]. Свака од индустријских револуција је променила улогу радника и начин на који су људи сарађивали са машинама. Са сваким новим технолошким напретком, радници су морали да стичу нове вештине како би се прилагодили променама у производњи. Однос између човека и машине трансформисао се од физичке интеракције и рада на машинама до потребе за вештим управљањем, одржавањем и интеграцијом технологије у производне процесе. Према [17] идеја Индустрије 4.0 је да се минимизира људски рад што је више могуће или да га у што већој мери замене роботизовани системи. Међутим, паметне фабрике нису производни објекти који функционишу потпуно без учешћа радника. Неопходно је омогућити непрекидну и безбедну производњу али и добре међуљудске односе, као и веома повољне услове рада и добру комуникацију између људи и машина односно позитивну комуникацију између паметних ресурса [18].

Управо из тог разлога је веома тешко, па чак и немогуће, потпуно искључити или уклонити човека као учесника у производном процесу, односно његов рад из тих процеса. Индустрија 4.0 омогућава нове врсте интеракција између човека и машина,

односно између човека и робота, као што је кооперација између њих и адаптацију машина тако да су прилагођеније употреби од стране човека [19]. Аутоматизација се посматра као даље унапређење физичких и когнитивних способности човека путем интеграције људских и сајбер-физичких система (енгл. *Cyber-Physical Systems*, CPSs). Сајбер-физички системи подразумевају интеграцију рачунарских система са физичким светом. Они комбинују дигиталне компоненте попут софтвера и алгоритама са физичким уређајима као што су сензори и актуатори, омогућавајући континуирану интеракцију, сакупљање података и реаговање у реалном времену. Ови системи се користе у различитим областима, од аутономних возила до паметних фабрика, како би се побољшала ефикасност, сигурност и перформансе система.

Индустрија 5.0 је концепт који се развија као *nastavak prethodnih* индустријских револуција, са фокусом на хуманизацију радног окружења и унапређење сарадње између људи и машина, узимајући у обзир људске вештине, креативност и способност решавања проблема. Индустрија 5.0 позитивно утиче на очување животне средине кроз примену напредних технологија попут интернета ствари, вештачке интелигенције и аутоматизације. Ове технологије омогућавају боље управљање ресурсима, смањење отпада и подршку циркуларној економији. Кроз паметно управљање процесима производње, оптимизацију коришћења енергије и смањење емисија штетних гасова, Индустрија 5.0 доприноси смањењу еколошких отисака производње [9]. Такође, иновације у области паметних материјала и производних технологија омогућавају стварање производа који су еколошки прихватљивији и имају мањи утицај на животну средину [20]. Кроз одрживу праксу и континуирано унапређење технологија, Индустрија 5.0 може допринети стварању еколошки одговорне производње која подржава дугорочну одрживост животне средине [21].

Улога човека у паметним фабрикама је специфична и треба обратити пажњу на неколико аспеката, између осталог: вештине, компетенције, интелектуалне способности, квалификације али и на ограничења, мотивацију и здравствена и правна питања.

У индустријским процесима, технолошки напредак је неоспорно важан, али се истиче да је улога човека и даље незамењива. Људска интеракција, креативност, интуиција и способност доношења одлука кључни су за ефикасно решавање проблема, посебно у ситуацијама које захтевају комплексност и прилагођавање [9]. Моделовање процеса у којима људи и машине сарађују је изазовно, али изузетно важно. Разумевање интеракције између људи и технологије може унапредити ефикасност индустријских система и допринети развоју бољих радних пракси. Развијање радних система који узимају у обзир људске факторе, ергономију и перформансе система може унапредити продуктивност, сигурност и задовољство радника. Ово се не тиче само техничких аспеката, већ и способности система да се прилагоди људским потребама [22]. Моделовање човека захтева мултидисциплинарни приступ који обухвата различита знања како би се створио свеобухватан и функционалан модел [23]. Индустрија се стално развија, те стога постоји потреба за константним унапређењем вештина и обуком радне снаге. Моделовање човека може помоћи у развоју нових технологија за олакшање обуке и прилагођавања новим радним задацима [24]. Укратко, изучавање и моделовање човека у индустријском контексту не само да наглашава важност људског фактора у процесу производње, већ и показује како технолошки напредак може бити користан само када се пажљиво интегрише с људским знањем, искуством и способностима [25].

Свесни специфичне улоге човека у паметној фабрици, у овом истраживању предлагемо нови DSML језик *HResModLan* (енгл. *Human Resource Modeling*

Language) у оквиру фамилије језика чије креирање је започето креирањем *MultiProLan* језика. Истраживања везана за моделовање осталих ресурса производње и развој одговарајућих DSML-ова, који ће бити део поменуте фамилије језика, су такође у току и комплементарна су истраживањима која се предлажу у овом раду. Језик *HResModLan* треба да омогући формалну спецификацију улога, вештина, компетенција, способности као и ограничења човека како би им се на адекватан начин доделили процесни кораци у оквиру производног процеса. На тај начин би се постигла боља интеграција људских ресурса и машина у паметним фабрикама, односно генерално у организацијама.

Човек у производном систему може се посматрати из две перспективе: (i) као запослени у организацији (организациона перспектива); и (ii) као људски производни ресурс (производна перспектива). Обе перспективе су веома важне, посебно имајући у виду захтеве које постављају Индустрија 4.0, усредсређена на технологију и на паметне могућности машина и робота, и Индустрија 5.0 која тежи да, поред употребе нових технологија, стави добробит радника у индустрији, али и добробит читаве друштвене заједнице, у центар интересовања. Организациона перспектива је важна у контексту снажне потребе да организациона структура буде флексибилна и способна да се прилагоди променљивом окружењу и новим карактеристикама радне снаге. Производна перспектива значајна је у контексту аутоматизоване оркестрације у оквиру безбедне сарадње свих производних ресурса, као што су људи, машине и роботи.

Да би се развио DSML погодан за адекватно моделовање човека у окружењу Индустрије 4.0/Индустрије 5.0, неопходно је узети у обзир обе перспективе. Сходно томе, DSML који има за циљ моделовање човека (запосленог) у контексту Индустрије 4.0/Индустрије 5.0 треба да има следећа два дела: један који има за циљ моделовање човека (запосленог) у контексту организације, а други усмерен на моделовање човека (запосленог) у контексту оркестрације производње, где се човек посматра као производни ресурс.

Концепти *HResModLan* језика морају бити дизајнирани тако да подржавају моделовање флексибилне организационе структуре као и различите типове организационе структуре. Креирани модели треба да омогуће аутоматско генерисање различитих докумената и визуелних репрезентација организационих шема са различитих тачака гледишта. Индустрија 5.0 је фокусирана на вештине, знања и способности радника/запослених да сарађују са машинама и роботима, а из перспективе менаџера, то значи фокусирање на образовање радника/запослених и њихово доживотно учење. Модели запослених изражени концептима *HResModLan* језика морају допринети адекватном праћењу доступног људског капитала и изради мапа учења које имају за циљ развој нових или усавршавање постојећих вештина запослених. Модели креирани применом *HResModLan* језика морају бити динамички променљиви и омогућити евидентирање промена услова запошљавања, ограничења радних места и законске регулативе. На тај начин биће омогућена њихова примена за подршку процеса награђивања, селекције, запошљавања и прерасподеле радне снаге унутар организације.

1.2 Циљеви, обим и ограничења истраживања

Узимајући у обзир претходно наведене изазове и потребе описане у претходним поглављима, формулишемо основну хипотезу нашег истраживања:

Хипотеза 0 (H_0). *Могуће је дефинисати MD решење за спецификацију човека у Индустрији 4.0/Индустрији 5.0 као и његових способности и компетенција али и*

ограничења, који се могу користити за аутоматско распоређивање радника на адекватна радна места и кораке производних процеса и који се као такав може интегрисати са постојећим решењима из ове области.

Главни циљ истраживања, изведен из основне хипотезе, јесте да се дефинише методолошки приступ и софтверско решење које ће користити принципе MD и DSML за формалну спецификацију човека у Индустрији 4.0/Индустрији 5.0. Приступ треба да омогући флексибилније распоређивање радника на радна места и кораке производних процеса па самим тим да утиче и на побољшање читавог производног процеса у организацији па тако и на целокупно пословање организације. На тај начин би помогли и менаџерима људских ресурса да лакше распореде раднике и аутоматски генеришу потребну документацију на основу специфицираних модела.

Следеће четири хипотезе су изведене из хипотезе 0 како бисмо боље формулисали предложено истраживање. Потврђивањем или одбацивањем изведених хипотеза, можемо потврдити или одбацити хипотезу 0.

Хипотеза 1 (X1). Могуће је креирати наменски језик за потребе моделовања човека са свим детаљима неопходним да би се на аутоматизован начин генерисале инструкције и документација из модела.

DSML за моделовање човека у Индустрији 4.0/Индустрији 5.0 треба да буде формално и систематски дефинисан, омогућавајући моделовање свих компоненти везаних за човека на кохерентан и концизан начин, стварајући на тај начин машински читљиве моделе. Обогаћивањем тог модела свим неопходним детаљима потребним за распоређивање адекватних ресурса, такви модели се могу аутоматски трансформисати у инструкције за извршење или у одговарајућу документацију. Међутим, да би се креирали модели спремни за аутоматско извршење, потребно је укључити различите аспекте моделовања човека, што нас доводи до следеће хипотезе.

Хипотеза 2 (X2). Могуће је креирати наменски језик који ће омогућити моделовање човека из две перспективе, као учесника у производном процесу и као учесника у организацији.

DSML за моделовање човека у Индустрији 4.0/Индустрији 5.0 треба да омогући моделовање човека из две перспективе, као учесника у производном процесу и као део организационе целине. Оба ова модела морају да подрже све неопходне функционалности и да омогуће креирање свих концепата које покривају ова два домена. Овакви модели треба да служе као улазне компоненте за даљу употребу у MD решењу.

Хипотеза 3 (X3). Могуће је, користећи наменски језик, моделовати ограничења која су правне и физичке природе и који представљају препреке за учествовање у процесу производње и за распоређивање радника на радна места.

DSML треба да омогући моделовање ограничења за извођење радних задатака и вршење функције дефинисане за неко радно место. Та ограничења могу бити правне или физичке природе. Оваква ограничења треба ближе да опишу сваког радника укључујући евентуалне сметње за распоређивање радника на неко радно место или производни корак, попут боловања или неког ограничења, везаног на пример за могућност рада на висини. Такође треба да опишу и тренутно стање и позицију на

којој се радник налази, да прикаже све уговоре и анексе уговора које је потписао са организацијом и да прикаже статус активности сваког радника. На тај начин увек би постојао увид у то који радник је најадекватнији за извршавање одређеног процесног корака или који је радник најадекватнији за одређено радно место. Овакви модели треба да представљају улазне компоненте за даљи процес оркестрације, односно аутоматског распоређивања радника.

Хипотеза 4 (H4). Могуће је аутоматски генерисати извршне инструкције за распоређивање радника као и генерисање различите врсте потребне документације из креираног модела.

Коришћењем генератора инструкција са правилима модел-у-текст (енгл. *Model-to-Text*, M2T) трансформације, модели човека могу се аутоматски трансформисати у извршне инструкције. Генерисана упутства се могу послати на извршење. Такође, пошто су модели машински читљиви, могу се трансформисати и у потребну документацију. Таква трансформација би помогла менаџерима људских ресурса, дизајнерима процеса, као и самим радницима да избегну ручно креирање и модификовање документације. На тај начин се може уштедети време менаџерима људских ресурса, дизајнерима процеса, као и самим радницима, а вероватноћа настанка грешке настале ручним уређивањем документације се значајно смањује.

1.3 Очекивани резултати истраживања и научни допринос дисертације

Примењивост резултата овог истраживања представља један од кључних аспеката за сагледавање његове укупне вредности и научног доприноса. Разматрање очекиваних резултата омогућава боље разумевање потенцијала дисертације, како у академском, тако и у индустријском контексту. У овом раду биће анализирана практична примена добијених резултата у различитим областима, са посебним освртом на системе засноване на принципима Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, као и могућности њиховог даљег развоја и имплементације.

Очекивани доприноси предложеног истраживања груписани су у четири основне категорије: теоријске доприносе, доприносе у развоју софтвера, доприносе у примени предложеног приступа и друштвене доприносе. Оваква класификација омогућава јасно сагледавање научне и практичне вредности дисертације, као и њеног потенцијалног утицаја у ширем академском, индустријском и друштвеном контексту.

Теоријски допринос истраживања огледа се у унапређењу знања у областима моделовања човека и аутоматског извођења инструкција у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0. У оквиру дисертације дат је систематски преглед постојећих језика и приступа за моделовање човека, чиме се идентификују њихова ограничења у погледу флексибилности, формалности и подршке аутоматизацији. На основу овог прегледа извршена је идентификација и дефинисање основних концепата неопходних за имплементацију наменског језика за моделовање човека, чији су модели погодни за аутоматско генерисање инструкција за раднике, упутстава и пратеће документације. Додатно, дисертација доноси спецификацију решења заснованог на принципима инжењерства вођеног моделима, које омогућава динамичку оркестрацију активности и аутоматско генерисање инструкција на основу DSML модела. Тиме се показује да примена ових принципа значајно доприноси лакшем формалном моделовању човека и аутоматизованом извршавању активности у сложеним производним системима.

Допринос у развоју софтвера остварен је кроз имплементацију конкретних алата и генератора који операционализују предложени теоријски приступ. У оквиру

истраживања развијен је алат за моделовање човека применом развијеног *HResModLan* DSML-a, који омогућава формално дефинисање улога, вештина, компетенција и ограничења запослених. Поред тога, имплементирани су генератори инструкција који омогућавају аутоматско генерисање инструкција за извршавање операција од стране радника на основу DSML модела, као и генератори документације за аутоматско креирање различитих типова организационе и процесне документације. Ови софтверски артефакти потврђују техничку изводљивост предложеног приступа и његов потенцијал за интеграцију у постојеће индустријске и организационе информационе системе.

Допринос у примени предложеног приступа огледа се у валидацији развијеног језика и алата кроз њихову примену у реалном контексту. У оквиру дисертације приказана је практична примена принципа инжењерства вођеног моделима и наменског језика за моделовање човека у домену индустрије, чиме је демонстрирана употребљивост предложеног решења у стварним производним условима. Додатно, спроведена је евалуација предложеног језика и развијеног алата од стране различитих корисника, што је омогућило сагледавање њихове разумљивости, прихваћености и практичне вредности. На овај начин представљено је ново практично искуство остварено применом предложеног методолошког приступа, софтверског алата и подржаног наменског језика, чиме се додатно потврђује његова релевантност за индустријску праксу.

Друштвени допринос истраживања огледа се у могућности шире и јавне примене општег модела за управљање људским ресурсима, који је примењив у организацијама различитог карактера и структуре. Употреба оваквог модела омогућава дубље разумевање улоге и понашања човека у организационом и производном окружењу, доприноси унапређењу социјалних и образовних политика, као и идентификацији и превенцији негативних образаца понашања. Истовремено, истраживање указује на потребу за изузетно пажљивим управљањем етичким питањима и изазовима приватности, како би се обезбедила друштвена добробит и заштита права запослених у процесу дигиталне трансформације.

Као обједињени резултат, главни очекивани допринос предложеног истраживања јесте лакше и систематичније формално моделовање човека као ресурса у организацији, чиме се омогућава адекватнији одговор на растуће захтеве Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, као и ефикасније суочавање са изазовима које ове парадигме доносе.

1.4 Структура дисертације

Осим уводних разматрања, закључка, литературе и прилога, дисертација је организована у неколико међусобно повезаних поглавља која систематски воде од теоријских основа ка развоју, примени и евалуацији предложеног решења.

Након уводног поглавља, у другом делу дисертације дат је преглед теоријских подлога и стања у области релевантних за истраживање. Најпре су размотрени концепти Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, као и кључне технологије и парадигме које обликују савремене производне системе. Посебан акценат стављен је на анализу улоге човека кроз индустријске револуције, са фокусом на промене које настају у контексту Индустрије 4.0/Индустрије 5.0. У наставку су представљени принципи инжењерства вођеног моделима и језици наменски за домен, уз детаљан преглед постојећих DSML-ова за моделовање човека у организационом и производном окружењу. Овај део завршава се идентификацијом проблема и ограничења у постојећим приступима, чиме се јасно дефинише истраживачки јаз који дисертација адресира.

Методолошки оквир истраживања и ток спроведених активности представљени су у наредном делу рада. У овом поглављу описан је процес истраживања, од анализе домена проблема и дефинисања захтева, до дизајна и развоја решења. Такође, предложена је архитектура решења заснованог на принципима инжењерства вођеног моделима, чиме се успоставља веза између теоријских основа и практичне реализације истраживачких циљева.

Централни део дисертације посвећен је анализи домена моделовања човека у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0. У овом сегменту рада уведени су основни концепти анализе домена оријентисане на карактеристике (енгл. *Feature-Oriented Domain Analysis*, FODA) и спроведена је детаљна анализа домена, на основу које су дефинисани захтеви које треба да испуни језик за моделовање човека у организацији и производњи. Ови захтеви представљају полазну основу за развој наменског језика и пратећих алата.

На основу дефинисаних захтева, у следећем делу рада представљени су резултати истраживања у виду предлога DSML-а за моделовање човека у Индустрији 4.0/Индустрији 5.0. Приказана је апстрактна синтакса језика, којом се формализују кључни концепти и њихови односи, као и конкретна синтакса која омогућава практичну примену језика у реалним сценаријима моделовања.

Примена предложеног решења и анализа његове употребљивости разматране су у наредном поглављу. Кроз дефинисани случај употребе демонстрирана је практична примена решења у индустријском окружењу. Даље, спроведена је евалуација *HResModLan* језика и алата за моделовање, укључујући дефинисање циљева експеримента и хипотеза, припрему и извођење експеримента, као и анализу и дискусију добијених резултата. У овом делу рада размотрена су и ограничења истраживања и потенцијалне претње валидности.

Завршни део дисертације посвећен је сумирању остварених резултата и разматрању могућих праваца даљег развоја. У овом сегменту истакнути су главни доприноси дисертације, предложена будућа истраживања у домену моделовања човека у контексту Индустрије 4.0/Индустрије 5.0, као и потенцијални правци развоја DSML-а и алата за моделовање, укључујући њихову примену у новим доменима.

На крају, литература коришћена током израде дисертације дата је у посебном поглављу, док су прилози издвојени као додатни материјал који допуњује и детаљније илуструје приказане концепте, методологију и резултате истраживања.

2 Теоријске подлоге и стање у области

Данашња индустрија пролази кроз фундаменталне трансформације које су последица напретка технологије, промена у пословним моделима и еволуције радне снаге. Кључне промене које су обележиле овај период укључују прелазак ка Индустрији 4.0 и надоласећој парадигми Индустрије 5.0.

Индустрија 4.0 означава парадигму у којој се технологија, аутоматизација и дигитализација интегришу у све аспекте индустријских процеса. Она се карактерише појавом паметних фабрика, повезаних ресурса производње и применом интернета ствари и вештачке интелигенције у индустрији, како би се постигла већа ефикасност, прилагодљивост и конкурентност. Индустрија 5.0 се, поред свега поменутог, фокусира и на људски фактор, стављајући акценат на сарадњу између људи и машина ради стварања одрживијих, инклузивнијих и хуманијих радних окружења.

У домену информационих технологија, принципи моделима вођеног инжењерства (MD принципи) имају значајну улогу у развоју софтвера и информационих система. Они промовишу коришћење модела као основних артефаката током развојног циклуса, чиме се олакшава анализа, дизајн и имплементација система. Комбинација MD принципа са језицима наменским за домен омогућава ефикасно решавање комплексних проблема у различитим областима примене.

Истраживање које се предлаже у оквиру овог рада је мултидисциплинарно и обухвата анализу улоге човека у Индустрији 4.0 и Индустрији 5.0, примену принципа моделима вођеног инжењерства и коришћење језика наменских за домен, са циљем адекватног моделовања човека у савременим индустријским системима. На тај начин доприноси се подршци флексибилној производњи у делу управљања људским ресурсима у организацији и производњи.

Поред технолошких и организационих аспеката Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, значајан део савремених истраживања усмерен је и на развој људског капитала, образовање и унапређење компетенција радне снаге. Дигитална трансформација индустрије захтева нове образовне моделе, јачу повезаност образовних институција и индустрије, као и примену концепата доживотног учења и дигиталних платформи за обуку запослених. Посебан акценат ставља се на развој интердисциплинарних вештина, прилагођавање образовних политика захтевима Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0 и јачање организационих капацитета кроз улагање у људски и интелектуални капитал. Ови аспекти препознати су као важни предуслови за успешну имплементацију напредних индустријских парадигми [26], [27], [28], [29], [30], [31].

У овом поглављу систематизовано су представљене теоријске подлоге и извршена анализа стања у области релевантној за предмет истраживања. У првом делу разматрају се концепти Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, са посебним нагласком на трансформацију улоге човека кроз индустријске револуције. Наредни део поглавља посвећен је принципима моделима вођеног инжењерства и језицима наменским за домен, као основи за формализацију сложених система. У наставку је дат преглед постојећих доменски специфичних језика за моделовање човека у организационим и производним системима, уз идентификацију њихових ограничења. Поглавље се завршава резимеом и синтезом уочених проблема, који представљају основу за даљи развој предложеног приступа.

2.1 Индустрија 4.0/Индустрија 5.0

Развој индустријских револуција представља континуирани процес дубоких технолошких, економских и друштвених трансформација које су током историје значајно мењале начин производње, организацију рада и функционисање друштва у целини. Након прве три индустријске револуције, које су обележене механизацијом производње, масовном применом електричне енергије и развојем дигиталних технологија, почетком 21. века долази до појаве четврте индустријске револуције, познате као Индустрија 4.0. Овај концепт означава нову фазу индустријског развоја засновану на свеобухватној дигитализацији и интеграцији напредних информационо-комуникационих технологија у производне системе [32].

Појам Индустрије 4.0 први пут је званично представљен 2011. године у Немачкој, у оквиру националне стратегије за јачање конкурентности индустрије у условима убрзане дигиталне трансформације. Суштина ове парадигме огледа се у концепту паметне фабрике у којој су производни системи умрежени, аутономни и способни за самостално доношење одлука у реалном времену. Индустрија 4.0 настаје као резултат кумулативног развоја бројних технологија, укључујући сензорске системе, вештачку интелигенцију, обраду великих количина података и брзе комуникационе мреже. На макроекономском и регионалном нивоу, Индустрија 4.0 значајно утиче на трансформацију иновационих система и индустријских кластера, захтевајући нове приступе индустријској и иновационој политици који подстичу сарадњу између предузећа, истраживачких институција и јавног сектора у циљу одрживог технолошког развоја [33].

Основу Индустрије 4.0 чине кибернетичко-физички системи, који омогућавају интеграцију физичких производних процеса са дигиталним моделима и алгоритмима. Овакви системи повезују машине, роботе, сензоре и софтверске платформе у јединствену целину, чиме се омогућава континуирано прикупљање, анализа и размена података. Последице, производња постаје високо аутоматизована, флексибилна и податковно вођена, уз могућност оптимизације процеса у реалном времену [34].

Индустрија 4.0 ослања се на широк спектар савремених технологија, међу којима се посебно издвајају ИоТ, који омогућава умрежавање уређаја и сталну размену података, Биг Дата аналитика за обраду и интерпретацију великих скупова информација, као и вештачка интелигенција (енгл. *Artificial Intelligence*, AI) и машинско учење (енгл. *Machine Learning*, ML), који унапређују аутономију система и квалитет доношења одлука. Додатно, примена аутономних робота, адитивне производње, тродимензионалне штампе, као и клауд рачунарства (енгл. *cloud computing*, CC) и ивичних рачунарских решења (енгл. *edge computing*, EC) омогућава висок степен флексибилности и персонализације производних процеса [35].

Упркос честом уверењу да аутоматизација доводи до потпуног потискивања људског рада, Индустрија 4.0 не елиминише улогу човека, већ је трансформише. Радници све више преузимају улоге аналитичара, надзорника и доносилаца одлука у комплексним и непредвидивим ситуацијама. Посебно се истиче трансформација улоге оператера одржавања, где дигиталне технологије мењају природу рада, уводећи нове когнитивне захтеве, интеракцију са паметним системима и већу одговорност у реалном времену [36]. Људске способности, попут креативности, интуитивног размишљања и адаптивности, остају незаменљиве у областима у којима алгоритми и аутоматизовани системи имају ограничења, што потврђују и емпиријска истраживања искустава оператера и инжењера одржавања у паметним фабрикама [37]. Емпиријска истраживања искустава оператера и инжењера одржавања у паметним фабрикама указују да увођење високо аутоматизованих и дигитализованих система често доноси

повећано когнитивно оптерећење, нејасну поделу одговорности и потребу за новим облицима сарадње између људи и технологије, чиме се додатно потврђује незаменљива улога човека у Индустији 4.0 [38]. Поред когнитивног оптерећења, савремена литература указује и на утицај демографских промена, нарочито старења радне снаге које утичу на појаву грешака у интеракцији човек-систем и на поузданост производних система [39].

Поред промена у радним улогама и когнитивним захтевима, Индустија 4.0 уводи и нове облике интеракције и сарадње између људи и дигиталних система, који превазилазе класичан однос човек-машина. У оквиру индустријског интернета ствари (енгл. *Industrial Internet of Things*, IIoT), радници све чешће ступају у интеракцију са мрежама повезаних паметних уређаја, информационих система и алгоритама, што захтева разматрање принципа интеракције човек-рачунар (енгл. *Human-Computer Interaction*, HCI) и рачунарски подржане сарадње (енгл. *Computer-Supported Cooperative Work*, CSCW) у индустријском контексту. Емпиријска истраживања указују да оваква окружења значајно мењају начине координације рада, доношења одлука и сарадње између људи, као и између људи и аутономних система, чиме се додатно наглашава социо-техничка природа Индустије 4.0 и потреба за дизајном система који подржавају заједнички рад, транспарентност и разумљивост аутоматизованих процеса [40]. Прегледна истраживања додатно систематизују постојеће приступе интеракцији човека и машине у Индустији 4.0, укључујући колаборацију са роботима, адаптивне корисничке интерфејсе и контекстно-свесне системе, при чему се као кључни изазови идентификују ергономија, когнитивно оптерећење, поузданост и прихватљивост технологије у реалним индустријским окружењима [41]. Поред производних окружења, сродни изазови се идентификују и у домену производне логистике, где се указује на растући значај интеракције човек-рачунар у координацији рада и управљању сложеношћу дигитализованих токова [42]. У том смислу, интеграција људских актера у окружење IoT и CPS препознаје се као посебан истраживачки изазов у погледу моделовања, интероперабилности и оперативне координације [43].

Поред тога, савремена истраживања указују да Индустија 4.0 не подразумева само учење машина, већ и континуирано учење човека кроз интеракцију са интелигентним системима, при чему се улога људског учења редефинише као кључни фактор за ефикасну сарадњу човека и машине у паметним производним окружењима [44]. У том контексту, истраживања из области људских фактора и ергономије наглашавају потребу за пројектовањем радних система у Индустији 4.0 који узимају у обзир когнитивна, физичка и организациона ограничења човека, с циљем смањења оптерећења, повећања безбедности и унапређења ефикасности сарадње између људи и интелигентних технологија [45]. Библиометријске анализе додатно потврђују снажан пораст интересовања за област људских фактора и ергономије (енгл. *human factors and ergonomics*) у контексту Индустије 4.0, нарочито у индустријским секторима са сложеним и безбедносно критичним радним окружењима [46]. Додатне студије из области ергономског дизајна потврђују да примена концепата Индустије 4.0 захтева систематско прилагођавање радних места, интерфејса и радних процеса у складу са принципима савремене ергономије и приступа људских фактора, с циљем обезбеђивања безбедне, ефикасне и одрживе интеракције између људи и напредних производних технологија [47]. Слични изазови у вези са људским факторима идентификовани су и у области Логистике 4.0, где емпиријске студије указују да дигитализација и аутоматизација логистичких процеса значајно утичу на радне задатке, оптерећење и интеракцију запослених са напредним информационим

системима, наглашавајући потребу за дизајном усмереним на човека и у ширем индустријском контексту [48].

Међутим, и поред значајних предности у погледу ефикасности и продуктивности, Индустрија 4.0 показала је одређена ограничења. Доминантан фокус на технолошки напредак и аутоматизацију није увек у складу са савременим друштвеним, еколошким и етичким изазовима. Поред технолошких и еколошких изазова, истраживања указују и на социјалне импликације Индустрије 4.0, укључујући перцепције запослених у вези са правичношћу, сигурношћу запослења и укљученошћу у процесе дигиталне трансформације, што додатно наглашава потребу за приступом усмереним на човека у индустријском развоју [49]. Поред технолошких изазова, успешна имплементација Индустрије 4.0 захтева и трансформацију управљања људским ресурсима, при чему дигитални модели управљања људским ресурсима (енгл. *Human Resource Management*, HRM) засновани на примени Индустрије 4.0 омогућавају оптимизацију процеса, боље усклађивање компетенција запослених са захтевима паметних система и унапређење организационих перформанси [50]. Емпиријске студије додатно потврђују да примена напредних пракси управљања људским ресурсима, попут развоја дигиталних компетенција, партиципативних облика рада и континуираног учења запослених, има значајан утицај на успешност имплементације Индустрије 4.0 и организационе перформансе, нарочито у средње великим индустријским предузећима [51]. Додатно, истраживања указују да дигитална трансформација у оквиру Индустрије 4.0 мења и однос између човека и организације, захтевајући нове моделе организационе структуре, комуникације и партиципације запослених како би се обезбедила усклађеност технолошких иновација са људским потребама и вредностима [52]. Као одговор на ове недостатке, развија се концепт Индустрије 5.0, чију је филозофију Европска комисија формално дефинисала 2021. године [53]. Поред наведених изазова, истраживања из области поузданости и безбедности система указују да високо умрежени и аутономни производни системи у Индустрији 4.0 уводе нове облике системских ризика, комплексности и међузависности компоненти, што захтева прилагођавање традиционалних приступа инжењерству поузданости и управљању ризицима [40]. У том смислу се развијају и приступи засновани на симулацији људске поузданости (енгл. *human reliability assessment*), који имају за циљ систематско разматрање утицаја људског фактора на безбедност и ризике у Индустрији 4.0 [54].

Индустрија 5.0 представља парадигму која технологију ставља у службу човека и друштва, наглашавајући потребу за равнотежом између технолошког развоја и људских вредности. Њена појава мотивисана је растућом потребом за одрживим и еколошки одговорним производним процесима, обезбеђивањем безбедног и хуманог радног окружења, повећањем отпорности индустријских система на глобалне кризе, као и решавањем етичких дилема повезаних са применом вештачке интелигенције и аутоматизације [55].

За разлику од Индустрије 4.0, која технологију поставља у центар производног система, Индустрија 5.0 уводи приступ усмерен на човека, у којем човек има кључну улогу у индустријским процесима. Циљ није искључиво максимизација ефикасности, већ стварање система који омогућавају изражавање људске креативности, етичко одлучивање и друштвену одговорност. Производња се све више оријентише ка персонализованим решењима и сарадњи између људи и колаборативних робота [56]. У том контексту, истраживања интеракције човек-робот (енгл. *Human-robot interaction*, HRI) разматрају примену решења инспирисаних људским понашањем образаца учења као начин унапређења природности и ефикасности сарадње човека и робота у индустријским окружењима [57].

Индустрија 5.0 заснива се на три основна принципа: приступу усмереном на човека, одрживости и отпорности система. Приступ усмерен на човека подразумева пројектовање технологија које унапређују квалитет рада, штите здравље запослених и омогућавају развој њихових креативних потенцијала. У том контексту развијене су методе које омогућавају идентификацију корективних мера са циљем истовременог унапређења добробити радника и организационих перформанси [58]. Одрживост се огледа у смањењу негативног утицаја на животну средину, рационалном коришћењу ресурса, примени принципа циркуларне економије и већој употреби обновљивих извора енергије. Отпорност система односи се на способност индустрије да функционише и прилагођава се у условима криза, попут економских поремећаја, пандемија или прекида у ланцима снабдевања [53].

У оквиру Индустрије 5.0, улога човека постаје још значајнија него у претходној фази индустријског развоја. Радник није само корисник или надзорник технологије, већ активни учесник у њеном обликовању и примени. Посебан значај имају вештине креативног решавања проблема, интердисциплинарно знање, сарадња са колаборативним роботима, етичко управљање ризицима и развој високо персонализованих производних решења.

Иако Индустрија 4.0 и Индустрија 5.0 произилазе једна из друге, оне имају јасно диференциране циљеве и приступе. Индустрија 4.0 фокусира се на дигитализацију, аутоматизацију и паметне фабрике, са циљем повећања ефикасности и продуктивности, док Индустрија 5.0 ставља човека у центар система, наглашавајући одрживост, друштвену одговорност и сарадњу између људи и технологије. Индустрија 5.0 не представља негасију претходне револуције, већ њену надоградњу и усмеравање ка етичнијем, инклузивнијем и дугорочно одрживом индустријском развоју.



Слика 1 – Концептуални приказ разлика између Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0

Како би се јасније сагледале суштинске разлике, али и комплементарност између Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, на Слици 1 приказан је концептуални модел који илуструје прелазак са технолошки оријентисаног ка индустријском приступу усмереном на човека. Приказ наглашава разлике у улози човека, технологије и основних циљева развоја у ове две парадигме.

У наставку је дат систематизован преглед њихових кључних карактеристика. Табела 1 омогућава компаративну анализу ова два концепта кроз најзначајније критеријуме, укључујући фокус развоја, улогу технологије и човека [59], доминантне циљеве, производне парадигме, као и аспекте одрживости, етике и отпорности система. Овакав упоредни приказ доприноси бољем разумевању еволуције савремених индустријских модела и наглашава транзицију са технолошки оријентисаног ка усмереном на човека и друштвено одговорном индустријском развоју.

Табела 1 – Поређење Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0

Критеријум	Индустрија 4.0	Индустрија 5.0
Основни фокус	Дигитализација и аутоматизација производње	Приступ усмерен на човека у производном систему
Доминантни циљ	Ефикасност, продуктивност и оптимизација процеса	Одрживост, друштвена одговорност и квалитет рада
Улога технологије	Централна – аутономни и паметни системи	Подршка човеку и унапређење његових способности
Улога човека	Надзор, анализа и доношење одлука у сложеним ситуацијама	Креативни сарадник, дизајнер и активни корисник технологије
Тип производње	Масовна и високо аутоматизована	Персонализована и флексибилна
Производни концепт	Паметна фабрика (енгл. <i>smart factory</i>)	Системи усмерени на човека (енгл. <i>human-centric systems</i>)
Кључне технологије	IoT, AI, <i>Big Data</i> , аутономни роботи, CC	Колаборативни роботи, AI са етичким оквиром, одрживе технологије
Однос човек-машина	Интеракција и надзор	Сарадња и партнерство
Еколошки аспект	Секундаран или имплицитно присутан	Централни принцип (одрживост, циркуларна економија)
Отпорност система	Фокус на оптимизацији у стабилним условима	Фокус на прилагодљивости и отпорности у кризним условима
Етички аспект	Ограничено разматран	Интегрални део система
Филозофија развоја	Технологија у центру	Човек и друштво у центру

Разумевање односа између Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0 од суштинског је значаја за обликовање будућих индустријских система. Док Индустрија 4.0 обезбеђује технолошку основу за интелигентну и аутоматизовану производњу, Индустрија 5.0

доноси визију у којој технологија и човек делују као партнери у стварању иновативног, отпорног и хуманог индустријског окружења.

2.2 Улога човека кроз индустријске револуције

Индустријске револуције представљају прекретнице у историји човечанства јер су донеле темељне промене у начину производње, организацији рада и свакодневном животу људи. Пре њиховог почетка, већина послова обављала се ручно, уз ослањање на људску и животињску снагу, док је производња била спора, ограничена и често везана за мала домаћинства или занатске радионице. Развојем нових машина, извора енергије и технолошких решења покренут је дуготрајан процес који је свет из традиционалног, аграрног друштва постепено трансформисао у модерно индустријско и, касније, технолошко друштво [60].

Кроз сваку индустријску револуцију мењала се и улога човека у производном процесу. У општем тренду, човек је постајао све мање директни извршилац физичког посла, а све више надзорник, оператер, техничар, стручњак, аналитичар и креатор, док су машине преузимале тежак и понављајући рад. Ова трансформација није се односила само на радно место, већ је мењала образовање, друштвене односе, урбанизацију и класну структуру, као и начин живота у целини [61]. Управо зато је разумевање улоге човека кроз индустријске револуције важно и у савременом истраживачком контексту: оно објашњава како су настали савремени производни системи и зашто се данас, паралелно са технолошким напретком, поново отвара питање „места човека“ у производњи, нарочито у Индустрији 4.0 и Индустрији 5.0 [61], [53].

Ова еволуција улоге човека кроз индустријске револуције приказана је на Слици 2, која илуструје постепен прелазак од физичког извршиоца ка когнитивном и креативном учеснику у производним системима.



Слика 2 – Еволуција индустријских револуција и улоге човека у производном процесу

У Првој индустријској револуцији, која се одвијала крајем 18. и почетком 19. века, кључна промена огледа се у преласку са занатске и кућне производње на фабрички систем заснован на механизацији и новим изворима енергије, пре свега парној енергији [62], [60]. У преиндустријском периоду производња је у великој мери функционисала кроз кућни и занатски модел, у којем су породице и занатлије радили у оквиру дома или мањих радионица, задржавајући значајну контролу над ритмом

рада и организацијом производног процеса [63], [64]. Овај модел производње постепено је потискиван развојем технолошких иновација у текстилној индустрији, попут воденог предачког оквира (енгл. *water frame*) и касније механизованог разбоја (енгл. *power loom*), које су значајно повећале продуктивност и подстакле ширење фабричког система [65], [66]. Иако су нове машине захтевале веће инвестиције, просторну концентрацију и организовану инфраструктуру, производња се све више селила у фабрике, док се радник из улоге релативно аутономног занатлије трансформисао у фабричког радника који ради према темпу и правилима које намеће машина и организација производње [60], [67]. Овим процесом мења се и сама природа рада: долази до јачања радне дисциплине, увођења стриктно дефинисаног радног времена, као и доминације поделе рада и специјализације као основних принципа организације индустријске производње [64], [68].

У оквиру раног фабричког система, улога човека била је претежно физичка и извршилачка, при чему су многи послови захтевали релативно низак ниво квалификација, али висок степен издржљивости и дуготрајан физички напор [68]. Истовремено, радни услови били су изразито тешки: радни дан је често трајао и више од дванаест сати, простори су били нехигијенски и слабо вентилисани, док је употреба опасних машина значајно повећавала ризик од повреда на раду [69], [62]. Посебно значајна социјална карактеристика раног индустријског капитализма било је масовно укључивање жена и деце у фабричку производњу, као и екстремна дужина радних смена, што је у савременој литератури идентификовано као једна од његових најупечатљивијих и најпроблематичнијих последица [70], [71]. Последице овакве организације рада биле су дубоке и вишеслојне: долази до интензивне миграције становништва из руралних у урбане средине, формирања индустријске радничке класе (пролетаријата), као и појаве раних облика колективне борбе за побољшање радних услова и радних права [72]. На социолошком плану, радник се у првој фази индустријализације појављује у амбивалентној улози, истовремено као кључни актер индустријске трансформације, без чијег рада фабрике не би могле функционисати, али и као субјект система који је често ограничавао његову аутономију, достојанство и сигурност рада [73], [68]. Ова амбивалентност представља једну од темељних карактеристика прве фазе индустријске модернизације [70].

Друга индустријска револуција, која се одвијала крајем 19. и током прве половине 20. века, представља надоградњу претходне фазе индустријализације кроз увођење нових извора енергије, пре свега електричне енергије, као и развој нових индустријских грана попут хемијске и челичне индустрије, уз истовремени напредак у областима комуникације и транспорта [62], [74]. Електрификација је имала дубоке организационе последице, јер је омогућила флексибилније просторно распоређивање машина, смањење зависности од централних извора погона и повећање ефикасности производних процеса [66]. Паралелно са технолошким променама, долази до развоја великих фабрика и модерних корпорација, што додатно учвршћује принципе стандардизације, рационализације и масовне производње као доминантне обрасце индустријске организације [74]. Најпрепознатљивији симбол ове фазе индустријског развоја постаје монтажна, односно покретна трака, чији се историјски врхунац везује за Фордову имплементацију комплетне масовне производње аутомобила 1913. године, чиме се значајно повећава продуктивност, али и додатно фрагментира радни процес [75]. У таквом моделу производње, радник је најчешће задужен за једну строго дефинисану и понављајућу операцију, при чему постаје функционални део великог и прецизно координисаног производног система [68].

Ове промене довеле су до парадоксалне трансформације улоге човека у индустријском процесу. С једне стране, рад на монтажној траци подразумевао је

поједностављивање и фрагментацију радних задатака, који су постајали мање занатски и у већој мери рутинизовани, чиме се смањивала потреба за широким мајсторским вештинама и индивидуалним знањем радника [68], [75]. С друге стране, раст сложености индустријских система, машина и производних токова постепено је повећавао потребу за техничком писменошћу, оператерским знањима и специјализованом обуком, нарочито у областима одржавања, надзора и координације производње [74], [66]. Истовремено долази до јачања радничких покрета и институционализације индустријских односа, што се огледа у постепеном увођењу радних стандарда, правила безбедности и ограничења радног времена, чиме се друштвени положај индустријског радника значајно мења у односу на најраније фазе фабрике [70], [72]. Упркос овим побољшањима, проблем монотоније и отуђења рада остаје изражен, будући да радник у систему масовне производње најчешће нема контролу над целином производног процеса нити над коначним производом, већ је сведен на извршиоца једне функционалне етапе унутар ширег индустријског тока [73], [68]. Улога човека се стога у овом периоду помера од претежно физичког радника који је непосредно „служио машини“ ка оператеру и извршиоцу стандардизованих задатака у оквиру масовне производње, уз постепен, али растући значај техничког знања и организационе компетенције [74].

Трећа индустријска револуција, позната и као Дигитална револуција, која је трајала од 1970-их година до почетка 21. века, обележена је интензивном применом рачунара, електронике, аутоматизације, технологија нумерички управљаних машина (енгл. *Computer Numerical Control*, CNC) и роботике у производњи, што је довело до суштинске трансформације односа између човека и машине. Дигиталне технологије омогућавају бржу, прецизнију и флексибилнију производњу, али и промену структуре рада: рутински физички послови се аутоматизују, а људски рад се преусмерава ка надзору, програмирању, одржавању и управљању дигитализованим процесима [76]. У овој фази човек постаје когнитивни и информациони ресурс: његов допринос се све више мери способношћу да прати и интерпретира податке, решава проблеме и управља сложеним системима, уместо да директно извршава физичке операције.

Оваква трансформација доноси и макроекономске и друштвене последице. Удео запослених у класичној индустријској производњи у многим економијама опада, док расте удео рада у услугама, ИТ сектору, образовању и здравству. Истовремено, аутоматизација и информатизација поларизују тржиште рада: смањује се број рутинских послова средњег нивоа сложености, док расту захтеви за високообразованим профилима, али и за одређеним нерутинским услужним пословима [77]. Улога човека постаје амбивалентна и у дигиталној ери: с једне стране долази до смањења физичког напора и повећања продуктивности, а с друге до раста притиска за сталним учењем, адаптацијом и технолошком писменошћу [76], [77]. Тиме се поставља основа за Индустрију 4.0, у којој се дигитализација не посматра само као аутоматизација појединачне машине, већ као умрежавање целог производног екосистема.

Индустрија 4.0, која је започела почетком 2010-их година, уводи концепт паметне фабрике заснован на умрежавању машина, људи и производа путем интернета ствари, сајбер-физичких система напредне аналитике података, вештачке интелигенције и дигиталних близанаца. Фокус више није само на аутоматизацији појединачних операција, већ на реалном времену, интероперабилности и аутономији производних система у условима динамичних промена [32], [78]. У контексту управљања Индустријом 4.0, кључно је усмерити се на развој стратегија људских ресурса које омогућавају ефикасну интеграцију нових технологија и прилагодбу радне снаге потребама динамичних производних система, као и превазилажење проблема

недовољне искоришћености запослених у дигиталном производном окружењу [79], [80]. Улога човека у овом контексту постаје изразито координативна и когнитивна: човек надгледа паметне системе, интервенише у непредвиђеним ситуацијама, тумачи резултате аналитике и доноси одлуке када аутоматизација нема довољно контекста или када су у питању безбедносни, етички или пословно-критични компромиси [32], [81]. У том смислу, концепт паметног оператера наглашава човека као централни елемент паметне фабрике, чија се улога заснива на проширењу способности кроз дигиталне алате, колаборацију са интелигентним системима и континуирани развој компетенција у складу са принципима приступа усмереног на човека у Индустрији 4.0 [82]. Због тога се наглашава потреба за континуираном едукацијом, развојем дигиталних компетенција и прилагођавањем радника технолошким променама, јер флексибилност постаје кључна карактеристика савременог рада, уз примену омогућавајућих технологија за Оператора 4.0 [83], [84], [85]. Истраживања из перспективе стручњака за људске ресурсе (енгл. *Human Resources*, HR) указују да успешна примена Индустрије 4.0 захтева стратешко прилагођавање HR пракси, организационе културе и система развоја запослених [86]. том смислу, предложене су типологије компетенција у оквиру концепта људског капитала 4.0 (енгл. *Human Capital 4.0*), које систематизују знања и вештине потребне за рад у паметним производним системима. [87]. Емпиријске анализе трансформације ка концепту паметне фабрике (*smart factory*) додатно потврђују појаву нових радних профила и промењених захтева у погледу компетенција у индустријским организацијама [88]. Концепт Оператора 4.0 додатно је разрађен кроз лабораторијске студије хумано-кибер-физичких производних система (енгл. *human-cyber-physical production systems*, H-CPPS), које демонстрирају примену паметних и когнитивних решења за подршку оператерима у паметним фабрикама [89]. Један од конкретних примера таквих решења представљају когнитивни саветодавни агенти (енгл. *cognitive advisor agents*), који оператерима пружају контекстуалну подршку у доношењу одлука у окружењу Индустрије 4.0 [90]. Истовремено, у индустријским окружењима све чешће се идентификује компетенцијски јаз између постојећих знања запослених и захтева савремених производних и одржавачких система, што захтева систематску анализу и циљано управљање развојем компетенција у условима Индустрије 4.0 [91]. Индустрија 4.0 не само да трансформише производне процесе, већ и поставља нове изазове у погледу едукације и квалификација радне снаге, јер је потребно стално усклађивање са напредним технологијама и компетенцијама, како би се омогућило ефикасно управљање паметним фабрикама и аутономним производним системима [92].

Индустрија 5.0 појављује се као одговор на ограничења технолошки центричног приступа, уводећи јасан заокрет ка хуманизацији индустрије, одрживости и отпорности система. Према Европској комисији, Индустрија 5.0 допуњује Индустрију 4.0 стављајући нагласак на одрживу индустрију, усмерену на човека и отпорне системе, уз померање фокуса са искључиво економских циљева ка ширим друштвеним вредностима, укључујући добробит радника и поштовање еколошких граница [53]. У овој парадигми, човек се не посматра примарно као контролор аутоматизације, већ као централни носилац креативности, иновација и контекстуалног расуђивања, при чему технологија има улогу подршке људским способностима. Концепти као што су Оператор 4.0 и отпорни Оператор 5.0 (енгл. *Resilient Operator 5.0*) додатно разрађују ову идеју кроз визију симбиозе човека и аутоматизације, у којој се аутоматизација користи за проширење физичких и когнитивних капацитета човека, као и за изградњу отпорних радних система у променљивим условима [8], [9].

Ова трансформација улоге човека може се сагледати и кроз концептуални приказ приказан на Слици 3, који илуструје прелазак од физичког извршиоца ка когнитивном и креативном партнеру у интеракцији са интелигентним системима.

Истовремено, Индустрија 5.0 снажно повезује индустријски развој са одрживошћу и циркуларном економијом, чиме еколошки аспект постаје централна димензија дизајна и управљања производњом [53], [93]. То практично значи да се улога човека проширује и на домене који превазилазе оперативни рад: радник, инжењер и менаџер постају актери који активно учествују у обликовању одрживих пракси, етичких оквира употребе вештачке интелигенције, као и у дизајну сарадње човек-машина која мора бити безбедна, транспарентна и друштвено прихватљива [81], [53]. На тај начин, историјски лук индустријских револуција води од човека као физичког извршиоца у фабрици, преко оператера стандардизованих система и дигиталног надзорника аутоматизације, до човека као централног партнера технологије, чије улоге, вештине, ограничења и одговорности постају кључни ресурс савремених производних система.



Слика 3 – Трансформација улоге човека од физичког радника до партнера интелигентних система

2.3 MD принципи

Моделовање производних процеса у Индустрији 4.0/Индустрији 5.0 је важна тема у истраживањима везаним за за унапређење ефикасности, иновативности и конкурентности индустријских система у дигиталном добу.

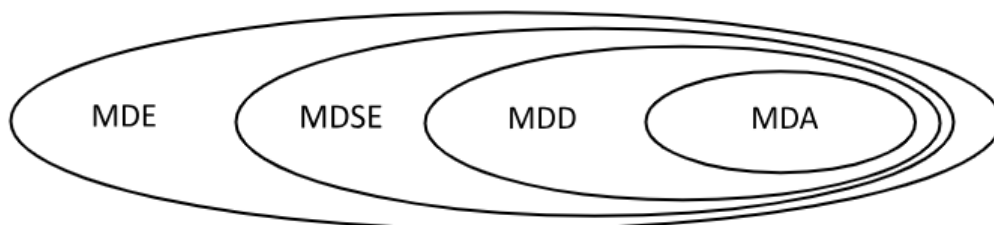
Употреба модела дуги низ година представља добру пракса током процеса развоја информационих система. Њиховој примени у развоју информационих sistema prethodi дугогодишња пракса примене оваквог приступа у развоју сложених хардверских система. Међутим, са појавом методологија и алата који омогућавају креирање софтверских модела на високо апстрактном нивоу, приступ који подразумева употребу модела као кључне и нераздвојиве компоненте развојног процеса, постао је један од значајних приступа у развоју информационих система.

MD парадигма у инжењерству претпоставља оријентацију на моделе у свим фазама развоја система. Безивен у [94] наводи да је „Све модел“. Према Стахл-у [95] модел је „апстрактна репрезентација структуре, функције или понашања система“, док

га Кухне [96] дефинише као „апстракцију (стварног или заснованог на језику) система који омогућава предвиђање или закључивање.“ Из перспективе MD приступа, модели се више не користе само за потребе документације и визуализације, већ као саставни делови софтвера, омогућавајући повећање и квалитета и брзине развоја софтвера. На тај начин се проблем комплексности решава кроз апстракцију, укључивање више стручњака из домена у процес развоја и побољшање комуникације између различитих заинтересованих страна. У савременим индустријским системима, нарочито у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, моделима вођени принципи све се чешће разматрају и као средство за систематско укључивање људских фактора у процес пројектовања и управљања производним системима. Истраживања указују да примена MD приступа може допринети унапређењу ергономије, добробити радника и укупних перформанси система, уколико се модели користе не само за техничку спецификацију, већ и за репрезентацију људских улога, ограничења и интеракција у социо-техничким системима [97]. У том контексту, развијају се и принципи моделима вођеног дизајна усмереног на човека, који повезују формалне моделе са захтевима људских фактора и ергономије, чиме се омогућава усклађивање технолошких решења са људским потребама и вредностим [98]. MD принципи се све више примењују и у индустрији, посебно у развоју и управљању сајбер-физичким системима и паметној производњи [99], у областима IoT-а и производних система [100] и развоју софтвера за роботе [101].

MD приступ подразумева коришћење модела као основних артефаката током процеса развоја софтвера и система. Ови модели омогућавају апстракцију сложених система, олакшавајући разумевање, анализу и дизајн. Принципи MD-а промовишу аутоматско генерисање кода или других артефаката из модела, као и језика наменских за различите домене примене. Ово омогућава већу флексибилност, продуктивност и лакше одржавање система.

MD као префикс је општи термин који означава, између осталог: моделима вођено инжењерство, моделима вођено софтверско инжењерство (енгл. *Model-Driven Software Engineering*, MDSE), моделима вођен развој (енгл. *Model-Driven Development*, MDD) и моделима вођене архитектуре (енгл. *Model-Driven Architecture*, MDA). Однос "је генерализација од" (неке основне идеје о овом односу између MDE и MDA су дате у [102]) између ових MD приступа може се представити Веновим дијаграмом на Слици 4. Сваки од ових приступа генерализује свој подређени приступ. У том контексту, MDE се сматра најопштијим појмом, а MDA најужим међу ова четири.

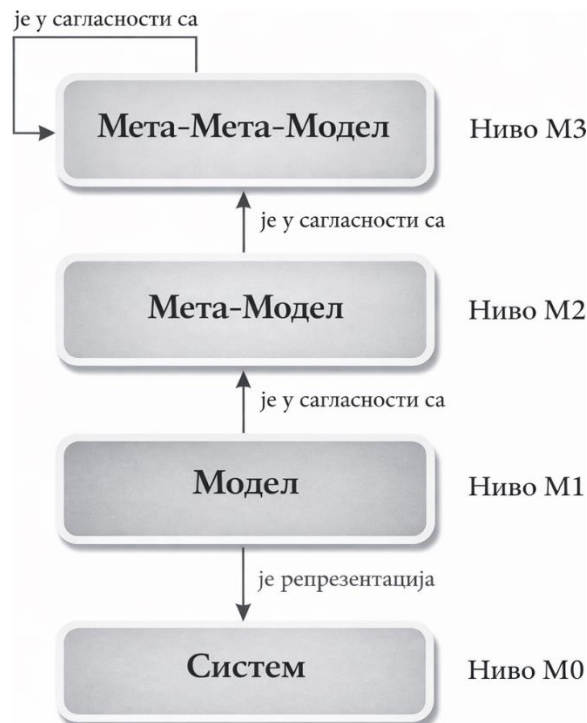


Слика 4 – Однос између MDE, MDSE, MDD и MDA

За разлику од приступа заснованих на моделима (енгл. *model-based*), који се примењују већ деценијама, а у којима се модел користио за потребе анализе, бољег разумевања и документовања система, у MD приступу се модел разматраног система, на довољно високом нивоу апстракције и са задовољавајућим степеном формалности, третира као део имплементације, јер се аутоматизованим поступцима, кроз једну или више трансформација, преводи у програмски код који се директно може извршавати на изабраној циљној платформи. MDA иницијатива, под вођством *Object Management*

Group, OMG групе [102] представља једну од најпознатијих MD иницијатива. Она дефинише моделима вођен оквир за развој софтвера (енгл. *Model-Driven Software Development*, MDSO).

Коришћењем принципа MDD, софтверски инжењери обично желе да одговоре на проблем сложености система подизањем нивоа апстракције. Стога, користећи традиционалну инфраструктуру са четири слоја [103], [104], MDD има за циљ аутоматизацију многих сложених задатака. Ова четворослојна инфраструктура, приказана на Слици 5, представља хијерархију нивоа модела, почевши од M0 до M3 нивоа.



Слика 5 – Четворослојна архитектура мета-нивоа

Ниво M0 представља ниво система који се моделује и који је репрезентован, описан (енгл. *representation of*) путем модела на нивоу M1. Ниво M1, односно ниво модела, представља модел система који се проучава. Модел је репрезентација посматраних ентитета система који се моделује, укључујући само релевантне информације о сваком појединачном ентитету и одређене односе између ентитета. Спецификација врста ентитета, врста односа и њихових својстава назива се мета-модел, и припада следећем нивоу апстракције односно нивоу M2. Сваки модел креиран је помоћу неког језика за моделовање, чија апстрактна синтакса је описана мета-моделом. Сваки модел мора бити исказан путем концепата мета-модела, односно мора бити у сагласности (енгл. *conforms to*) са одговарајућим мета-моделом. На сличан начин, мета-модел треба да буде специфициран коришћењем језика који се назива језиком мета-моделовања. Сваки мета-модел је креиран користећи исти скуп концепата дефинисаних у мета-мета-моделу на следећем нивоу који је означен са M3. Стога, дати мета-модел мора бити у сагласности са одговарајућим мета-мета-моделом. Концепти дефинисани у мета-мета-моделу су независни од одређеног домена и дефинишу се окружењем у којем су мета-модел специфицирани. Будући да нема потребе за увођењем нивоа апстракције изнад M3, мета-мета-модел обично се дефинише рефлексивно користећи своје сопствене концепте. Један често коришћен језик за мета-моделовање је *Meta-Object Facility* (MOF) мета-мета-модел OMG-а. MOF

је самоописујући платформски независан оквир за управљање мета-подацима који омогућава развој система вођених моделом и мета-подацима, као што су алати за моделовање и развој [102].

Суштину MDA приступа представља раздвајање спецификације функционалности и структуре система од спецификације конкретне имплементације на изабраној платформи. При томе, под платформом се подразумева скуп подсистема и технологија који пружају кохерентан скуп услуга путем интерфејса и прописаних начина употребе и које све апликације подржане том платформом могу користити без потребе да имају сазнање о начину имплементације пружених функционалности [105]. У контексту MDA приступа модел је систем или део система записан коришћењем добро дефинисаног језика који подржава аутоматску интерпретацију од стране рачунара. MDA класификује моделе у односу на ниво апстракције, на: (i) рачунарски независне моделе (енгл. *Computation Independent Model*, CIM); (ii) моделе независне од платформе (енгл. *Platform Independent Model*, PIM); и (iii) моделе зависне од платформе (енгл. *Platform Specific Model*, PSM) [105]. CIM модели су модели високог нивоа апстракције и често се за њихово креирање користе концепти који су карактеристични за домен примене. У креирању ових модела пожељно је укључити и доменске експерте. Међутим, ови модели нису погодни за процес трансформације јер су често у питању неформални модели. PIM модели креирани са становишта које је независно од платформе на којој ће систем бити имплементиран, док PSM модели укључују информације које су карактеристичне за циљну платформу на којој ће систем бити имплементиран. Коришћењем различитих PSM-ова могу се генерисати различите имплементације једног PIM истог система.

Трансформације модела различитих нивоа апстракције представљају један од главних корака у примени MDE приступа генерално, као и у оквиру MDA приступа, конкретно. Постоји више дефиниција трансформације модела које се појављују у литератури везаној за MDE. Трансформације модела представљају операције над моделима, и специфицирају се на нивоу мета-модела а извршавају на нивоу модела. Скуп трансформационих правила се специфицира једном и може се користити више пута на нивоу модела специфицирањем трансформација на нивоу мета-модела. Свака трансформација има изворни мета-модел, циљни мета-модел и мапирања између њихових концепата. Трансформације модела се специфицирају коришћењем језика за трансформацију који се може сматрати доменски специфичним језиком (енгл. *Domain-Specific Language*, DSL) за трансформације модела. Зависно од циља трансформације, могу постојати трансформације модел-у-модел (енгл. *Model-to-Model*, M2M) или M2T. Постоје и трансформације текст-у-модел (енгл. *Text-to-Model*, T2M), које се обично примењују у реверзном инжењерингу. Током ових трансформација елементи модела се прате од апстрактнијег модела до конкретнијег модела и обрнуто, што је постигнуто кроз мета-моделовање. Ове M2M трансформације трансформишу модел који је у складу са мета-моделом у други који је у складу са истим или другачијим мета-моделом. MDE комбинује DSML-ове са одговарајућим трансформацијама и генераторима кода.

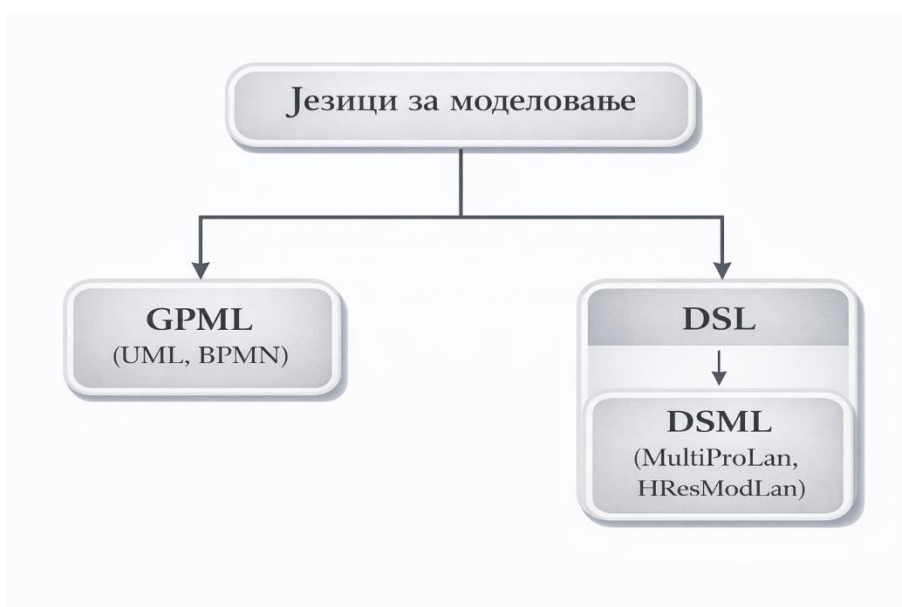
Архитектурални оквир моделима вођена архитектура сервисног инжењерства (енгл. *Model-Driven Service Engineering Architecture*, MDSEA), дат у [106], инспириран је MDA приступом чији принципи се примењују у паметној производњи. У међувремену, оквир је генерализован и преименован у моделима вођену архитектуру системског инжењерства (енгл. *Model-Driven System Engineering Architecture*, MDSEA) [24]. MDSEA има три нивоа апстракције. Први ниво је модел пословног система (енгл. *Business System Model*, BSM) који описује реалне системе и њихову комуникацију на високом нивоу апстракције, независно од будућих технологија и

вештина (способности) које ће неки производни ресурси користити. Овај модел одговара CIM моделима у оквиру MDA приступа. Модел независан од технологије (енгл. *Technology Independent Model*, TIM) је други ниво апстракције који пружа детаљну спецификацију структуре, функционалности и оперативних детаља моделованог производног система, али и даље независан од технолошких детаља који ће се користити за његову имплементацију. Овај трећи ниво чине модели специфични за технологију (енгл. *Technology Specific Model*, TSM). Неки TSM модел унапређује одговарајући TIM модел са детаљима имплементације, као што су технологија конкретне машине или конкретни радник у производњи, чиме TSM модел постаје спреман за имплементацију. На основу TSM-ова, могуће је имплементирати дизајнирани систем распоређујући машине, роботе, материјале, људске ресурсе на одговарајуће производне процесе и задатке. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације у великој мери ће бити ослоњена на примену MDSEA принципа.

2.4 Језици наменски за домен

DSL-ови су програмски језици дизајнирани за решавање специфичних проблема у одређеним доменима примене. Они омогућавају изражавање концепта и правила у домену на начин који је интуитиван и разумљив стручњацима у том домену, чиме се олакшава комуникација између различитих чланова тима. Значај DSL-ова посебно долази до изражаја у комбинацији са MD приступом. Кључне предности успешне примене MD приступа и DSL-ова се огледају у следећем: i) апстрактни модели олакшавају разумевање система и боље разумевање међу заинтересованим странама; ii) стручњаци за домен много су ближе укључени у процес имплементације; iii) продуктивност развоја и квалитета софтвера је унапређена; и iv) олакшано је очување и поновна употреба знања забележеног у наслеђеним информационим системима. У контексту паметне фабрике, формализација доменског знања кроз моделе и специјализоване језике представља кључни предуслов за доследну комуникацију између људи и дигиталних система, као и за поновну употребу знања у хетерогеним индустријским окружењима [107].

Језици за моделовање су потребни да би се обезбедила одговарајућа нотација за спецификације модела. У почетку су коришћени језици за моделовање опште намене (енгл. *general-purpose modeling language*, GPML), као што је обједињени језик за моделовање (енгл. *Unified Modeling Language*, UML) [108]. GPML је независан од одређеног домена и погодан је за покривање широког спектра домена. Сходно томе, модели дизајнирани са GPML-ом су изражени помоћу генеричких концепата. Основна мотивација за коришћење језика за моделовање наменских за домен, је претпоставка да концепти наменски за домен ефикасније подржавају кориснике у моделовању домена за одређену сврху од GPML-а [12]. У [5] је истражено стање језика у домену моделовања производних процеса и идентификовани су захтеви у односу на језик који би се користио за моделовања производних процеса погодним за аутоматско генерисање и извршавање инструкција. На основу анализе није идентификован ниједан језик за моделовање који би могао да испуни све дефинисане захтеве. Због тога су аутори у [12] предложили наменски креирани DSML, под називом *MultiProLan*, који би подржао све идентификоване пожељне карактеристике језика за моделовање производних процеса. Однос између језика за моделовање опште намене и језика наменских за домен приказан је на Слици 6, која илуструје њихову улогу и примену у контексту моделовања сложених система.



Слика б – Однос између језика за моделовање опште намене (GPML) и језика наменских за домен (DSML/DSL)

Постоје бројни језици који имају за циљ моделовање различитих аспеката производних процеса. Списак материјала и операција (енгл. *Bill of Materials and Operations*, BOMO) [109] може се посматрати као пример традиционалног начина специфицирања производних процеса. Језици за моделовање опште намене, као што је језик за моделовање пословних процеса (енгл. *Business Process Modeling Notation*, BPMN), у стању су да представе комплексну семантику производног процеса и широко се користе у пракси. Међутим, према [110] BPMN се не може користити за адекватно моделовање паметних ресурса, а у оквиру њих људских ресурса посебно. Оуианг и други [111] тврде да BPMN не пружа подршку за моделовање читавог низ производних ресурса. Аутори представљају концептуални модел података о ресурсима који узима у обзир различите типове производних ресурса (попут машина, робота и људи) и њихову интеракцију. Неки аутори предлажу проширења BPMN језика, како би било могуће моделовање неких од аспеката човека као производног ресурса. Полдердијк и други у [112] предлажу проширење BPMN-а како би омогућио моделовање људских активности и карактеристика физичког ризика, чиме би била омогућена симулација и приказ физичких опасностима са којима се људи суочавају као учесници у производним процесима. У истраживању [12], предложен је оквир за формални опис и аутоматско извршавање производних процеса у оквиру Индустрије 4.0. Оквир није заснован на GPML-у нити на проширењу GPML-а, већ на наменски креираном DSML-у који има за циљ моделовање производних процеса.

Истраживањем литературе на тему DSML-ова који омогућавају моделовање човека, уочили смо да не постоје језици који би омогућили моделовање човека као део организације са једне стране, и као учесника у производном процесу, са друге стране. Исто тако, постојећи GPML-ови не омогућавају да се моделује човек до нивоа његових компетенција, способности, али и здравствених и правних ограничења. Иако постоје приступи засновани на онтологијама за формализацију одређених аспеката управљања људским ресурсима, они у правилу не обезбеђују јединствени DSML који би истовремено повезивао организациону семантику човека са процесним извршењем у производњи [113]. То је био један од разлога због којих је донета одлука да се креира нови језик који би омогућио све претходно поменуто. Кроз ово истраживање биће

представљено креирање новог језика под називом *HResModLan*, који ће омогућити моделовање човека из перспективе организације и из перспективе производње.

2.5 Преглед постојећих DSML-ова за моделовање човека у организацији и производњи

У оквиру прегледа постојећих DSML-ова за моделовање човека у организацији и производњи, корисно је направити систематизацију по доминантном фокусу језика и алата, јер се у литератури појављују приступи који (i) примарно описују организационе улоге и пословне процесе, (ii) примарно описују мануални рад, ергономију и интеракцију човек-машина, или (iii) настоје да интегрисано обухвате организациону и производну перспективу. Оваква подела је посебно релевантна у контексту Индустрије 4.0/Индустрије 5.0, где је за реалну примену потребно истовремено формализовати ко (човек као ресурс са вештинама и ограничењима) ради шта (процесне кораке), када и у којим условима (оркестрација и извршење у динамичком окружењу).

Прву групу чине језици и нотације који се користе за моделовање људских ресурса и организације кроз призму пословних процеса, одговорности и организационих зависности. Најшире прихваћен представник је BPMN, која представља стандардизовани начин приказа пословних процеса. Она омогућава јасан приказ људских задатака и расподеле активности по улогама, што је чини погодном за документовање процеса и комуникацију између учесника [114]. Ипак, BPMN је по својој природи општи језик процесног моделовања, па детаљна семантика човека (компетенције, ограничења, правила доделе посла, услови рада) обично остаје изван самог модела и пребацује се у екстерну документацију или имплементационе механизме, што може бити ограничење када је циљ аутоматско генерисање инструкција и динамичко распоређивање радника [115]. Сродно томе, формални приступи засновани на онтологијама могу описати одређене организационе карактеристике људских ресурса, али често остају слабо повезани са извршним процесним моделима производње, што ограничава њихову употребу за оркестрацију рада у реалном времену [113]. У истом организационом домену често се наводи и *i** оквир, који је усмерен на моделовање циљева, улога и зависности између актера у социо-техничким системима. Овај оквир је посебно користан за анализу разлога деловања („зашто“) и односа зависности („ко зависи од кога“) у организацији, нарочито у контексту разматрања алтернативних улога и организационих промена [116]. Трећи типични представник ове групе су модели ланаца догађајима вођених процеса (енгл. *Event-Driven Process Chains*, EPC), који су традиционално присутни у индустријским контекстима и често повезани са системима за планирање ресурса предузећа (енгл. *Enterprise Resource Planning*, ERP) окружењима. EPC је користан за приказ догађаја, функција и одговорности, али такође често остаје на нивоу процесне логике и организационе расподеле, без формално богате спецификације човека као производног ресурса [117].

Другу групу чине DSML-ови и алати који су настали из потреба индустријског инжењерства и ергономије и који примарно описују људске активности у производњи, време извођења, физичко оптерећење, стандардизоване покрете и интеракцију човека са радним окружењем. У пракси се у овом контексту често користе системи предодређених времена и метода рада, као што су мерење времена методом (енгл. *Methods-Time Measurement*, MTM) и техника секвенци операција (енгл. *Maynard Operation Sequence Technique*, MOST), који омогућавају моделовање мануелних активности кроз стандардизоване секвенце, као и процену трајања операција, што је од значаја за балансирање производних линија, процену оптерећења

и планирање рада [118], [119]. Савремена истраживања наглашавају и њихову примену у формалнијем планирању рада и валидацији тачности времена у контексту система процесних градивних блокова (енгл. *process building blocks*) и приступа дизајну рада усмереног на човека (енгл. *human work design*) [120], као и увођење рачунарских система за подршку примени ових метода у индустријском окружењу [121]. Паралелно са тим, развијени су и дигитални модели човека (енгл. *digital human modeling*, DHM) у оквиру индустријских софтверских окружења, у којима се радник моделује ради симулације ергономије, досега, видљивости, безбедности и сарадње са роботима. Типични примери су платформе засноване на дигиталним аватарима и симулацијама (као што су JASK-тип системи и сродни DHM алати), које омогућавају процену ергономских ризика и валидацију радних станица пре физичке имплементације [122]. Ограничење ове групе приступа, из перспективе дисертације која циља формалну оркестрацију и аутоматско генерисање инструкција, јесте то што се фокус често задржава на физичко-ергономским карактеристикама и планирању времена, док су организациони елементи (улоге, компетенције, правила расподеле, нормативна и правна ограничења) или изван модела или нису довољно формализовани за извршење на вишем нивоу апстракције. Литература из области људских фактора и ергономије додатно потврђује да се доминантни приступи најчешће задржавају на физичко-ергономском опису и (делимично) таксономијама понашања, без пуне интеграције организационих правила, компетенција и извршивих процеса, што је кључно ограничење за DSML-е усмерене на оркестрацију рада [123], [124].

Трећу групу представљају приступи који покушавају да обједине организационо и производно моделовање и тиме обезбеде основу за синхронизацију активности људи и аутоматизованих ресурса. У том смислу се често наводи субјектно оријентисано управљање пословним процесима (енгл. *Subject-Oriented Business Process Management*, SBPM), где су „субјекти“ (актери) и њихове комуникације у центру моделовања, што олакшава експлицитно раздвајање одговорности и токова порука између људи и система [125]. За прецизнију анализу понашања и синхронизације, нарочито у сценаријима где су присутни паралелизам, условно извршење и дељење ресурса, значајну улогу имају Петри-мреже и Петри-нет засновани DSML-ови, који су у истраживачкој заједници препознати као формално снажан механизам за моделовање и анализу токова рада (енгл. *workflow*), укључујући детекцију застоја и уских грла и евалуацију својстава процеса [126]. Савремени приступи „човек у петљи“ (енгл. *human-in-the-loop*) и пројектовању сарадње човека и система наглашавају потребу за експлицитним моделовањем улога човека у управљању и извршењу, али се ти доприноси често појављују као архитектуре или методологије, а не као јединствени DSML-ови директно погодни за аутоматско генерисање инструкција у производном окружењу [127], [128]. Коначно, за симулацију комплексних социо-техничких система, у којима је понашање радника (одлуке, интеракције и адаптација) кључни део динамике, често се користе приступи засновани на агентима (енгл. *agent-based approaches*), као што су платформе *GAMA* и *Repast*. У оквиру ових приступа, људски актери се представљају као агенти са дефинисаним правилима понашања и интеракцијама, што омогућава истраживање емергентних ефеката у производним и организационим сценаријима [129], [130], [131]. Међутим, и у овом случају уочава се типичан компромис: модели засновани на агентима нуде широк простор за симулацију понашања, али често не представљају језгро инжењерских доменски специфичних језика за моделовање, који су директно дизајнирани за аутоматско генерисање инструкција и документације. Уместо тога,

захтевају додатни слој формализације и трансформација како би се постигла извршивост у реалним индустријским системима.

Сумарно посматрано, постојећи језици и приступи обухватају значајне аспекте проблема, али се уочава да је моделовање човека често фрагментирано. Са једне стране, организационо-процесне нотације омогућавају јасан приказ структуре процеса, али недовољно формализују човека као производни ресурс. Са друге стране, ергономски и радно-мерни приступи пружају детаљан опис мануелног рада, али не интегришу у довољној мери организациону перспективу и механизме динамичке оркестрације. Услед тога, отвара се простор за развој наменског доменски специфичног језика за моделовање који би, ослањајући се на принципе моделима вођеног приступа, омогућио интегрисано и формално моделовање улога, вештина, ограничења и контекста рада човека. На тај начин би се обезбедила употребљивост модела како за анализу, тако и за аутоматско генерисање инструкција и документације, као и за ефикасно распоређивање у производним процесима [98].

У Табели 2 су приказане кључне карактеристике постојећих DSML-ова.

Табела 2 – Поређење приступа за моделовање човека у индустријским системима

DSML / приступ	Фокус	Предност	Ограничење
BPMN	Организација, процеси	Стандард, визуелно интуитивно	Слаба подршка за ергономију и физичке задатке
<i>i</i> *	Актери и зависности	Анализа циљева и зависности	Мањи фокус на физички рад
MTM / MOST	Људски задаци у производњи	Прецизно мерење времена, ергономија	Није флексибилно за организационе одлуке
Tecnomatix / RAMSIS	Симулирање човека	3D симулација, ергономска анализа	Скупо, фокус углавном на физички рад
Agent-based DSML	Комплексни системи	Флексибилност, симулација интеракција	Захтева програмирање и валидацију

2.6 Проблеми у постојећим DSML-овима за моделовање човека у организацији и производњи

У наставку поглавља разматрају се кључни проблеми и ограничења постојећих DSML-ова за моделовање човека у организацији и производњи, сагледани кроз три претходно идентификоване категорије приступа. Анализа ових проблема представља важну основу за мотивацију развоја новог језика, јер указује на систематске недостатке који се понављају у различитим истраживачким и индустријским решењима.

Постојећи DSML-ови који су примарно усмерени на организацију и људске ресурсе, као што су BPMN, *i** и EPC, номинално укључују човека у моделе, али углавном на апстрактном и процесно-оријентисаном нивоу. У тим приступима човек се најчешће посматра као носилац активности или извршилац задатка, без дубље семантике која би описивала његове индивидуалне карактеристике, понашање или ограничења. На пример, у BPMN-у је човек имплицитно представљен кроз људске задатке и расподелу активности по улогама, али не постоји формални механизам за моделовање искуства радника, умора, варијабилности учинка, склоности грешкама

или процеса учења. Последично, човек у BPMN моделу остаје „иконица у дијаграму“, а не експлицитан ентитет са стањем и понашањем. Овакав приступ онемогућава хватање динамике људског рада, као што су преоптерећење, мултитаскинг, стрес или прекиди у раду, што су у реалним производним системима честе појаве. Симулације засноване на BPMN моделима додатно поједностављују људски фактор, најчешће користећи фиксна времена извршења и претпоставку хомогених радника, чиме се губи могућност анализе утицаја промене људских ресурса на перформансе система. Системске анализе хуман фактора у Индустрији 4.0 указују да таква редукција човека на униформни ресурс може довести до систематских грешака у процени перформанси, безбедности и робусности процеса у реалним условима рада [97]. Слична ограничења присутна су и код EPC модела, који, иако корисни за документовање процеса и одговорности, немају довољну семантичку експресивност за моделовање стварних радних услова и оптерећења људи.

*i** оквир, са друге стране, фокусира се пре свега на циљеве, намере и зависности између актера у организацији. Иако је изузетно користан за стратешку анализу и разумевање „зашто“ одређени процес или одлука постоји, он не пружа адекватан основ за оперативно моделовање рада човека у производњи. *i** не поседује формалну семантику за физички рад, капацитете, ограничења или ергономију, нити омогућава квантитативну анализу перформанси и оптерећења радника. Због тога остаје ограничен на виши, концептуални ниво, без могућности директне примене у симулацији или аутоматизованом планирању производних активности.

Другу групу чине DSML-ови и алати усмерени на производњу и ергономију, као што су MTM, MOST и системи за дигитално моделовање човека (као што су *Tecnomatix Human Modeling*, *RAMSIS*, *JACK*). Ови приступи су знатно снажнији када је у питању опис физичког рада човека, времена извођења операција и ергономских аспеката радних места. Међутим, њихова основна претпоставка често је постојање „стандардизованог“ или просечног радника. Индивидуалне разлике међу људима, у снази, брзини, навикама, умору или искуству, углавном се не моделују експлицитно, већ се занемарују или апроксимирају кроз фиксне параметре. MTM и MOST системи користе унапред дефинисана времена покрета, што их чини slabим у окружењима са високом варијабилношћу и динамичким променама, какве карактеришу савремене фабрике. Додатно, ови приступи готово у потпуности изостављају когнитивни аспект човека: доношење одлука, пажњу, грешке, адаптацију и учење нису део модела, што значајно ограничава њихову примену у сложеним социо-техничким системима.

Дигитални алати за симулацију човека, попут *Tecnomatix*-а, *RAMSIS*-а или *JACK*-а, омогућавају детаљну анализу поза, досега, биомеханике и безбедности, али су првенствено фокусирани на физичку и ергономску димензију рада. Организационе улоге, комуникација међу људима, доношење одлука и размена информација углавном су изван домета ових система. Прегледна истраживања из области људских фактора у контексту Индустрије 4.0 указују да изоловано ергономско моделовање, без формалне везе са процесним и организационим моделима, ограничава могућност целовите оптимизације социо-техничких система [124]. Поред тога, ови алати су технички и финансијски захтевни, што ограничава њихову доступност у истраживачком контексту. Још један значајан проблем представља недовољна интеграција са процесним моделима: тродимензионо ергономско моделовање и процесно моделовање често постоје као одвојени системи, без формалне повезаности на нивоу метамодела. Због тога се ови системи чешће посматрају као специјализовани алати, а не као потпуно развијени доменски специфични језици за моделовање који би могли бити интегрисани у моделима вођен развој и аутоматизовано генерисање извршивих артефаката.

Трећу групу чине приступи за комбиновано моделовање организације и производње, као што су субјектно оријентисано управљање пословним процесима (енгл. *Subject-Oriented Business Process Management, S-BPM*), Петријевим мрежама засновани DSML-и агентски засновани језици. Иако ови приступи покушавају да превазиђу јаз између организационих и производних аспеката, и даље постоје значајна ограничења. У S-BPM-у су људски актери моделовани као процесни субјекти који размењују поруке, али се њихово стварно понашање, физичка ограничења и радни услови не разматрају детаљно. Овакав ниво апстракције је погодан за моделовање комуникације, али недовољан за прецизно описивање производних задатака и ергономије.

Петријеве мреже нуде снажан формализам за моделовање синхронизације и паралелизма, али у том оквиру се људи често своде на токене или ресурсе без богатих својстава. Иако је могуће проширивати моделе додатним параметрима, таква проширења брзо доводе до повећане сложености и губитка прегледности, док и даље остају ограничене могућности за опис понашања и ергономских аспеката људског рада. Агентски засновани DSML-ови, као што су *GAMA* или *Repast*, највише се приближавају реалном моделовању човека јер омогућавају дефинисање понашања, одлука и интеракција. Ипак, висока флексибилност ових приступа носи и озбиљне изазове: модели су често тешко верификабилни, слабо стандардизовани и снажно везани за конкретне алате. Понашање агената се често дефинише процедурално, што повећава трошкове израде и одржавања и може довести до тога да симулације постану „црне кутије“, без јасне везе са теоријским претпоставкама. Методолошки приступи пројектовању сарадње човек-систем наглашавају потребу за транспарентним претпоставкама и евалуабилним моделима рада, управо како би се умањио ризик од неинтерпретабилних симулационих решења у којима је тешко пратити узрочно-последичне везе [128].

Без обзира на категорију, може се уочити неколико општих проблема заједничких свим постојећим приступима. Пре свега, не постоји холистички DSML који би истовремено обухватио физички рад, понашање и доношење одлука, социјалне интеракције, организационе улоге, когнитивне процесе и варијабилност људског учинка. Постојећи модели су често недовољно експресивни да опишу реалне фабрике, у којима су људи хетерогени, адаптивни и динамични. Такође, организациони и производни аспекти су слабо интегрисани: процесни језици описују структуру и токове рада, док ергономијски алати описују физички рад, али без јединственог формалног оквира који би повезао ове перспективе. Коначно, изостанак стандардизације и ограничене могућности за симулацију нелинеарног, недетерминистичког људског понашања додатно отежавају примену постојећих DSML-ова у савременим, производним системима усмереним на човека.

Ови идентификовани проблеми јасно указују на потребу за развојем наменски дизајнираног DSML-а за моделовање човека у организацији и производњи, који би, у складу са принципима моделима вођеног приступа, омогућио јединствено, формално и довољно експресивно описивање људских ресурса као централног елемента савремених индустријских система.

2.7 Резиме стања у области и постојећих DSML-ова

У наставку поглавља даје се резиме прегледа постојећих DSML-ова за моделовање човека у организацији и производњи, кроз упоредну анализу најзначајнијих приступа. Циљ овог резимеа је да на сажет и систематичан начин обједини претходно дискутоване налазе и јасно истакне у којој мери поједини језици

и алати подржавају кључне аспекте моделовања човека као ресурса у савременим индустријским системима.

Ради прегледности и лакшег поређења, извршена је анализа постојећих DSML-ова према следећим критеријумима:

- могућност моделовања организационих аспеката (улоге, задаци, процеси),
- подршка за циљеве и мотивацију људи,
- моделовање физичког рада и ергономије,
- уважавање варијабилности радника (индивидуалне разлике, умор, брзина рада),
- експлицитна подршка за интеракцију човек-машина,
- могућност симулације понашања и адаптивности,
- комплексност израде и одржавања модела, и
- степен примене и зрелости у индустријској пракси.

У Табели 3 је коришћена квалитативна оцена: ✓ означава да је критеријум добро подржан, ~ да је подршка делимична, док X означава слабу или непостојећу подршку.

Табела 3 – Поређење постојећих DSML приступа за моделовање човека у индустријским системима

DSML / приступ	Организација	Циљеви и мотивација	Физички рад	Варијабилност радника	Интеракција човек-машина	Симулирање понашања	Комплексност моделовања	Примена у индустрији
BPMN	✓	X	X	X	~	X	✓	✓
i*	~	✓	X	X	X	X	~	~
EPC	✓	X	X	X	X	X	✓	✓
MTM / MOST	X	X	✓	X	~	X	✓	✓
Tecnomatix / RAMSIS / JACK	X	X	✓	~	✓	X	X	✓
S-BPM	✓	~	X	X	~	X	~	~
Petri Net DSML	~	X	X	~	~	~	X	~
Agent-based DSML (GAMA, Repast)	~	✓	~	✓	✓	✓	X	~

У наставку поглавља износе се главни закључци проистекли из упоредне анализе постојећих DSML-ова за моделовање човека у организацији и производњи, засновани на резултатима приказаним у Табели 3 и детаљној дискусији појединачних приступа.

Резултати јасно указују да ниједан од анализираних DSML-ова не обухвата све релевантне димензије човека као социо-техничког актера. Процесно-организацијски језици (као што су BPMN, EPC, i*, С-БПМ и Петри-нет DSML) постижу висок степен зрелости у моделовању организационе структуре, токова рада

и расподеле одговорности, али истовремено занемарују физичке, когнитивне и понашајне аспекте људског рада. Човек је у овим језицима углавном редуциран на апстрактног извршиоца активности или носиоца улоге, без експлицитног модела његових способности, ограничења, стања и адаптивног понашања.

Са друге стране, ергономско-производни системи (MTM, MOST, Tecnomatix, РАМСИС, ЈАСК) обезбеђују изузетно детаљан и прецизан опис физичког рада, биомеханике, радних поза и оптерећења. Њихова снага лежи у квантитативном и дескриптивном моделовању телесног аспекта човека, што их чини широко прихваћеним у индустријској пракси. Међутим, ови системи готово у потпуности игноришу организациони контекст, циљеве, комуникацију и понашајне аспекте, као и индивидуалне разлике међу радницима. Човек се у њима третира првенствено као физичко тело у простору, а не као носилац одлука, знања и социјалних интеракција.

Агентно засновани приступи представљају једину категорију која омогућава експлицитно моделовање понашања, адаптивности и варијабилности људских актера. Моделовањем човека као агента са сопственим стањима, правилима понашања и интеракцијама, ови приступи су најближи реалном опису људског деловања у сложеним системима. Међутим, управо та експресивност представља и њихову главну слабост: висока комплексност дизајна, отежана верификација и валидација модела, недостатак стандардизације и слаба преносивост ограничавају њихову ширу примену у индустријском окружењу. У пракси, агентни модели често остају на нивоу истраживачких прототипа, без јасног формалног метамодела и DSML-а који би обезбедио конзистентност и поновљивост.

На основу поредбене анализе може се идентификовати јасна структурна празнина у постојећој литератури и алатима. Тренутно не постоји DSML који на интегрисан начин обухвата:

- организационе улоге и процесе,
- понашање, одлуке и мотивацију људи,
- физички и ергономски рад,
- варијабилност и адаптивност радника,
- интеракцију човек-машина у савременим производним системима.

Постојећа решења фрагментирају човека на парцијалне моделе, који су развијани независно једни од других и без формалних механизма интеграције. Посебно је изражен јаз између процесно-организационог моделовања и физичко-ергономског моделовања, при чему не постоје стандардни DSML-механизми који би повезали ова два нивоа описа.

Анализа додатно показује да индустрија у пракси доминантно користи ергономијске алате и стандардизоване процесне језике, док се DSML-ови специјализовани за моделовање човека ретко примењују. Разлог за то није одсуство потребе, већ недовољна зрелост и интегративна моћ постојећих језика. То представља снажно оправдање за даља истраживања у овом домену.

Из наведених налаза произлазе јасне импликације за развој новог DSML-а. Постоји потреба за моделима вођеним, наменским језиком који ће:

- интегрисати процесне, организационе и понашајне аспекте,
- обухватити физичке и ергономске карактеристике радника,
- омогућити моделовање адаптације, варијабилности и интеракције човек-машина,
- повезати прецизност ергономских модела са експресивношћу агентних приступа,
- остати довољно формалан, али и употребљив у индустријској пракси.

Закључно, анализа приказана у овом поглављу потврђује да фрагментација постојећих DSML-ова представља кључни изазов у моделовању човека у организацији и производњи. Процесни језици су снажни у организацији, ергономијски системи у физичком моделу, а агентни приступи у понашању, али не постоји јединствени, холистички приступ који повезује све ове димензије. Управо ова празнина дефинише истраживачки простор и мотивацију за развој новог DSML-а, који ће омогућити прецизно, вишеслојно и реалистично моделовање човека у савременим социотехничким и производним системима, у складу са захтевима Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0.

3 Методологија истраживања

Дизајнирање система базираних на информационим технологијама представља један од кључних механизма напретка у решавању реалних проблема и унапређењу разумевања начина функционисања сложених социо-техничких система. У области информационих технологија и информационих система, истраживачки допринос се не исцрпљује само у анализи постојећих феномена, већ подразумева и активну конструкцију нових решења која су способна да побољшају организационо и индустријско окружење. Из тог разлога, истраживачи треба да идентификују и прецизно опишу реалне проблеме, да развију стратегије њиховог решавања, као и да имплементирају и евалуирају предложена решења према релевантним критеријумима квалитета и корисности [132]. Оваква истраживачка оријентација посебно долази до изражаја у домену Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, где дигитална трансформација мења захтеве, улоге и интеракције људи, процеса и технологија, а тиме и начин на који је потребно формално описивати и операционализовати знање о организацији и запосленима.

Уобичајена класификација научних истраживања према општости сазнања разликује фундаментална, примењена и развојна истраживања. Фундаментална истраживања су усмерена ка откривању нових законитости и теоријских принципа, често независно од непосредне практичне примене. Примена истраживања, насупрот томе, полазе од конкретног проблема и теже објашњењу и решавању тог проблема, при чему резултати непосредно служе пракси. Развојна истраживања теже иновацијама и унапређењу решења проблема од практичног значаја, при чему се очекује да допринос буде операционализован кроз конкретне, проверљиве резултате који се могу применити у реалном окружењу.

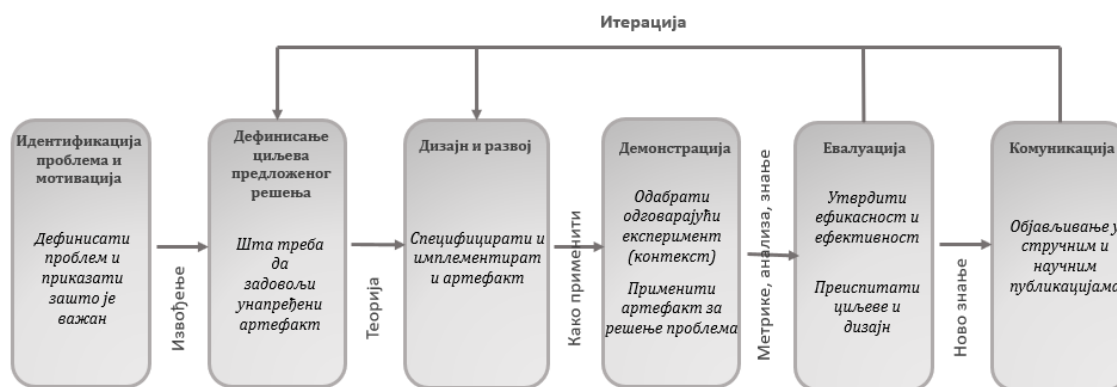
У оквиру истраживања у информационим системима посебно је релевантна развојна парадигма позната као истраживање дизајном (енгл. *Design Science Research, DSR*). Хевнер и сарадници [133] су утемељили DSR као парадигму решавања проблема која има за циљ унапређење технолошког и научног знања кроз стварање иновативних артефаката, који истовремено (i) решавају реалне проблеме и (ii) доприносе развоју знања о томе како и под којим условима такви артефакти функционишу [133], [134]. У том смислу, DSR истраживање је по природи конструктивно и евалуативно: конструктивно, јер подразумева дизајн и изградњу артефакта; евалуативно, јер артефакт мора бити систематски процењен у односу на проблеме и циљеве због којих је настао. Резултат DSR-а, стога, није само имплементација решења, већ и експлицитно знање о његовим својствима, ограничењима, условима применљивости и ефектима у окружењу у коме се користи.

У DSR литератури артефакти се типично разумеју широко и могу обухватати различите облике доприноса, као што су концептуални модели, метод, језик, архитектура, прототип, алгоритам или софтверски алат. У контексту овог рада, примарни допринос је у домену модел-дривен приступа кроз дизајн и имплементацију доменски специфичног језика и одговарајућег алата, као и пратећих механизма генерисања и употребе модела. Овакав тип доприноса се природно уклапа у DSR, јер претпоставља (1) јасно дефинисан проблем у реалном индустријском окружењу, (2) дизајн артефакта као одговора на проблем и (3) евалуацију артефакта према критеријумима квалитета релевантним за кориснике у индустрији и академији.

Постоји више модела за структурирање процеса истраживања дизајном [41], али један од најцитиранијих и широко прихваћених приступа представља методологија коју предлажу Peffers и сарадници [135], позната као методологија истраживања дизајном (енгл. *Design Science Research Methodology, DSRM*). DSRM

уводи шест основних активности које систематизују ток истраживања и омогућавају транспарентно извештавање о резултатима у области развоја информационих система. Ова методологија биће примењена у истраживању које се предлаже у овом раду и предстаљена је на Слици 7.

Слика 7 приказује DSRM као процес који обухвата следеће активности: идентификацију проблема и мотивацију, дефинисање циљева решења, дизајн и развој, демонстрацију, евалуацију и комуникацију. Важан аспект приказаног процеса јесте његова итеративност. Итерације нису додатак процесу, већ суштинска карактеристика DSR приступа: резултати демонстрације и евалуације могу да генеришу нова сазнања о проблему и ограничењима артефакта, што повратно утиче на редефинисање циљева, дораду дизајна или чак ре-формулацију проблема. На тај начин, DSRM омогућава да се истраживање води кроз циклусе побољшања, при чему се у свакој итерацији постиже виши ниво усаглашености између (i) захтева реалног окружења и (ii) формалних и имплементационих својстава предложеног решења.



Слика 7 – Модел DSRM процеса (прилагођено из [135])

Поред итеративности, други кључни квалитет DSR/DSRM приступа јесте истовремено усклађивање релевантности и ригорозности. Релевантност се остварује тиме што се полази од проблема који је реалан, актуелан и значајан за праксу, док се ригорозност постиже ослањањем на постојећа научна знања, теоријске концепте, формалне методе и систематске процедуре евалуације. У домену DSML језика и модел-дривен инжењерства, ригорозност се посебно одражава кроз формализацију апстрактне синтаксе, дефинисање семантике, утврђивање ограничења конзистентности модела, као и кроз примену стандардизованих оквира евалуације квалитета језика и алата.

На основу наведеног, примена DSRM методологије у овом раду омогућава да се истраживачки допринос структурира као логички и методолошки кохерентан ток: од идентификације изазова везаних за моделовање човека у организационом и производном контексту, преко дефинисања циљева и захтева, до дизајна, имплементације, демонстрације и евалуације предложеног DSML-а и припадајућег алата. Коначно, DSRM наглашава и активност комуникације, што је посебно значајно у истраживањима која производе артефакте, јер допринос мора бити истовремено (i) научно образложен и (ii) употребљив и разумљив релевантним заинтересованим странама у индустрији.

Избор методологије истраживања представља кључну одлуку која одређује природу научног доприноса, структуру истраживачког процеса и начин валидације резултата. У области информационих система могу се разликовати различити методолошки приступи, укључујући емпиријско-аналитичка истраживања, студије

случаја, акциона истраживања (енгл. *action research*), експериментална истраживања, као и конструктивна и развојна истраживања. Сваки од наведених приступа има специфичне циљеве и епистемолошке претпоставке.

Емпиријско-аналитичка истраживања примарно су усмерена на објашњење и предикцију постојећих феномена, уз ослањање на квантитативне методе и статистичку анализу. Студије случаја омогућавају дубинско разумевање специфичног контекста, али често имају ограничену генерализабилност. Акциона истраживања подразумевају активно учешће истраживача у промени реалног система, уз паралелно генерисање знања. Иако су ови приступи изузетно вредни, они су доминантно усмерени на анализу и интерпретацију постојећих стања.

За разлику од наведених приступа, DSR има конструктивну оријентацију: његов примарни циљ није само објашњење феномена, већ дизајн и развој иновативног решења које одговара јасно дефинисаном проблему. У контексту овог истраживања, проблем није само теоријске природе, већ произлази из практичне потребе за формалним моделовањем човека као ресурса у организационом и производном контексту, у условима Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0. Овакав проблем захтева развој специфичног језика за моделовање и припадајућег алата, што природно упућује на развојну и конструктивну методологију.

DSR је, стога, адекватнији од класичне студије случаја или експерименталног приступа, јер:

- омогућава систематски дизајн и имплементацију новог решења,
- захтева експлицитно дефинисање циљева и критеријума успеха,
- подразумева ригорозну евалуацију развијеног решења,
- интегрише теоријско знање и практичне потребе,
- подржава итеративно унапређење артефакта на основу евалуације.

Додатно, природа предложеног истраживања, развој доменски специфичног језика, алата за моделовање и њихове интеграције у ширу архитектуру модел-дривен решења, одговара основним принципима DSR парадигме, јер подразумева стварање новог технолошког решења са јасном применом у реалном индустријском окружењу.

Из наведених разлога, методологија DSRM представља најадекватнији оквир за структурирање и спровођење истраживања у овом раду.

DSRM методологија обухвата шест међусобно повезаних активности, које се у пракси реализују итеративно. У наставку је дата детаљна методолошка разрада сваке активности у контексту овог истраживања.

Активност 1: Идентификација проблема и мотивација

Прва активност подразумева прецизно дефинисање проблема који је предмет истраживања, као и образложење његове релевантности.

У овом раду, проблем је идентификован кроз анализу изазова Индустрије 4.0 и 5.0, где се човек појављује као кључни елемент дигитализованих и оркестрираних производних система. Постојећи генерички језици за моделовање (као што су UML, BPMN) нису примарно дизајнирани за експлицитно моделовање комплексних компетенцијских, организационих и регулаторних карактеристика људског ресурса. Оваква ситуација указује на потребу за доменски специфичним језиком који може адекватно да формализује улоге, компетенције, организационе структуре и динамичке промене у радном окружењу.

Методолошки, ова фаза обухвата:

- анализу релевантне литературе,
- анализу постојећих решења и њихових ограничења,
- идентификацију захтева за језик и алат,
- дефинисање истраживачког проблема у формализованом облику.

Мотивација за истраживање произлази из потребе да се унапреди прецизност, експресивност и интеграција моделовања људских ресурса у савременим индустријским системима.

Активност 2: Дефинисање циљева решења

Након идентификације проблема, следећи корак јесте дефинисање циљева које предложено решење треба да оствари. Ови циљеви морају бити усклађени са идентификованим проблемом и мерљиви у контексту евалуације.

У овом истраживању циљеви укључују:

- развој доменски специфичног језика за моделовање човека у организацији и производњи,
- обезбеђивање подршке за моделовање различитих организационих структура,
- подршку динамичким променама услова запошљавања и компетенција,
- омогућавање генерисања формалних и визуелних докумената,
- интеграцију са ширим модел-дривен окружењем.

Методолошки, ова фаза подразумева превођење проблема у скуп функционалних и нефункционалних захтева, који ће служити као критеријуми током дизајна и евалуације.

Активност 3: Дизајн и развој

Трећа активност обухвата концептуализацију, формализацију и имплементацију предложеног решења.

У оквиру овог истраживања, то подразумева:

- дизајн апстрактне синтаксе језика *HResModLan*,
- дефинисање његових концепата и релација,
- имплементацију метамодела коришћењем оквира за моделовање у окружењу *Eclipse* (енгл. *Eclipse Modeling Framework*, EMF) /*Ecore* технологије,
- развој графичке конкретне синтаксе применом *Eclipse Sirius* оквира,
- развој прототипа алата за моделовање.

Ова фаза је методолошки заснована на принципима модел-дривен инжењерства, где се модели третирају као примарни објекти развоја. Посебна пажња посвећује се конзистентности метамодела, валидацији структуре модела и модуларности имплементације, како би се омогућила будућа проширења.

Активност 4: Демонстрација

Демонстрација подразумева примену развијеног решења у реалистичним сценаријима како би се показала његова употребљивост и релевантност.

У овом истраживању демонстрација укључује:

- моделовање организационе структуре,
- моделовање компетенцијског профила запослених,
- повезивање модела са производним процесима,
- приказ генерисаних докумената и визуелних репрезентација.

Демонстрација се реализује кроз студије случаја и практичне сценарије који симулирају реалне услове примене у индустријском окружењу.

Активност 5: Евалуација

Евалуација представља кључну фазу DSRM процеса и има за циљ да утврди у којој мери предложено решење задовољава дефинисане циљеве и решава идентификовани проблем.

У овом раду планирана је евалуација кроз:

- примену оквира за квалитативну процену доменски специфичних језика (енгл. *Framework for Qualitative Assessment of Domain-Specific Languages*, FQAD),
- процену квалитета у складу са ISO/IEC 25010:2011 стандардом,
- спровођење експеримента са корисницима из индустрије и академије,
- анализу функционалне подобности, употребљивости, поузданости и експресивности.

Евалуација ће обухватити и разматрање валидности резултата, укључујући потенцијалне претње валидности и ограничења истраживања.

Активност 6: Комуникација

Завршна активност односи се на дисеминацију резултата истраживања. Комуникација подразумева објављивање резултата у научним радовима, презентовање на конференцијама и дискусију са стручњацима из индустрије. Ова активност има двоструку функцију: (i) валидацију доприноса кроз рецензентски процес и (ii) подстицање примене развијеног решења у реалним организационим контекстима.

3.1 Приказ активности у оквиру процеса истраживања

У складу са DSRM-ом, истраживачки процес у овом раду структуриран је кроз шест међусобно повезаних активности. Иако су активности приказане секвенцијално, у пракси се реализују итеративно, при чему резултати каснијих фаза могу довести до редефинисања циљева или дораде решења. У наставку је детаљан приказ сваке активности у контексту планираног истраживања.

Активност 1: Идентификација проблема и мотивација

Прва активност подразумева систематску идентификацију истраживачког проблема и образложење његове релевантности у савременом индустријском контексту. У овом раду проблем је произашао из анализе трансформација које доносе Индустрија 4.0 и Индустрија 5.0, где се човек све више посматра као интегрални део дигитално оркестрираних производних система.

Анализа постојећег стања указала је на неколико кључних изазова:

- недостатак формалног језика за моделовање човека као ресурса у организацији и производњи,
- ограничену експресивност генеричких језика за моделовање у контексту компетенција, регулаторних ограничења и организационе структуре,
- одсуство интеграције моделовања људских ресурса са моделима производних процеса и система,
- потребу за подршком динамичким променама услова запошљавања и компетенцијских захтева.

Методолошки, ова фаза обухвата:

1. анализу релевантне литературе из области моделовања, управљања људским ресурсима и Индустрије 4.0/5.0,
2. анализу постојећих језика за моделовање (као што су UML, BPMN, *ArchiMate* и други),
3. идентификацију њихових ограничења у контексту специфичног проблема,
4. формализацију проблема у виду скупа захтева које ново решење треба да испуни.

Кључни метод коришћен у овој фази јесте анализа домена оријентисана на карактеристике FODA, којом се идентификују заједничке и варијабилне карактеристике домена. Резултат ове активности представља јасно дефинисан проблем, скуп захтева и формализована доменски специфична структура која ће послужити као основа за дизајн језика.

Активност 2: Дефинисање циљева за решење

На основу идентификованог проблема, следећи корак подразумева дефинисање циљева предложеног решења. Ова фаза има кључну методолошку улогу јер обезбеђује везу између проблема и дизајна артефакта.

Циљеви су дефинисани на три нивоа:

1. ниво модел-дривен приступа,
2. ниво доменски специфичног језика (*HResModLan*),
3. ниво алата за моделовање и пратећих генератора.

Методолошки, циљеви су операционализовани кроз:

- функционалне захтеве (шта систем мора да омогући),
- нефункционалне захтеве (квалитет, проширивост, интеграција),
- критеријуме евалуације (како ће се мерити успешност решења).

У овој фази успостављена је и директна веза између идентификованих захтева и планираних механизма евалуације, чиме се обезбеђује конзистентност између циљева и каснијег процеса процене.

Активност 3: Дизајн и развој

Трећа активност обухвата концептуализацију, формализацију и имплементацију предложеног модел-дривен решења.

Дизајн се заснива на принципима модел-дривен инжењерства, где модели представљају централни елемент развоја. У овој фази реализоване су следеће подактивности:

- дефинисање апстрактне синтаксе *HResModLan* језика кроз метамодел,
- формализација концепата и релација идентификованих FODA анализом,
- дефинисање правила валидације модела,
- дизајн конкретне (графичке) синтаксе језика,
- имплементација прототипа алата извршена је применом EMF Оквира и оквира за графичко моделовање *Eclipse Sirius*,
- развој генератора за креирање документације и интеграцију са другим компонентама архитектуре.

Посебна пажња посвећена је модуларности и проширивости решења, како би се омогућила његова будућа надоградња и интеграција са другим системима. Дизајн и развој су реализовани итеративно, уз континуирано проверавање усклађености са дефинисаним циљевима.

Активност 4: Демонстрација

Демонстрација представља фазу у којој се развијено решење примењује у реалистичним или симулираним сценаријима како би се показала његова применљивост.

У овом истраживању демонстрација обухвата:

- моделовање различитих типова организационих структура,
- моделовање организационих јединица и радних места,
- моделовање компетенцијског профила запослених,
- повезивање модела човека са моделима производног процеса,
- генерисање визуелних и формалних докумената.

Демонстрација се реализује кроз више случајева употребе који репрезентују типичне индустријске сценарије. Циљ демонстрације није само техничка валидација имплементације, већ и потврда да развијени језик и алат могу да адресирају идентификоване изазове.

Активност 5: Евалуација

Евалуација представља кључну фазу методологије и има за циљ да утврди у којој мери предложено решење решава идентификовани проблем.

Евалуација ће бити спроведена кроз комбинацију квалитативних и квантитативних метода. Као основни оквир користиће се оквир за квалитативну евалуацију доменски специфичних језика, док су критеријуми квалитета прилагођени према стандарду ISO/IEC 25010:2011. Планирани експеримент обухватиће учеснике из различитих група:

- менаџере људских ресурса,
- раднике из индустрије,
- истраживаче и студенте из академске заједнице.

Учесници ће користити развијени алат за моделовање и након тога евалуирати:

- функционалну подобност,
- употребљивост,
- поузданост,
- експресивност,
- продуктивност.

Поред тога, процењиваће се и карактеристике имплементације као што су одржавање, проширивост, поновна употреба и интеграција.

Анализа резултата омогућиће идентификацију предности и слабости решења, као и потенцијалних унапређења *HResModLan* језика и алата.

Активност 6: Комуникација

Комуникација подразумева систематску дисеминацију резултата истраживања академској и индустријској заједници.

Резултати истраживања су делимично већ представљени на међународним конференцијама и у часописима, где су прикупљене релевантне повратне информације. Ове повратне информације представљају важан елемент итеративног унапређења решења.

Планирано је даље објављивање резултата кроз доктроску дисертацију, научне радове и сарадњу са индустријским партнерима, чиме се обезбеђује и академска валидација и практична примена решења.

Укупни истраживачки процес карактерише итеративна структура у којој демонстрација и евалуација могу довести до редефинисања циљева и дораде дизајна. Овакав приступ обезбеђује равнотежу између релевантности за индустријску праксу и научне ригорозности, што је основни принцип DSRM методологије.

3.2 Предлог архитектуре MD решења

Предложена архитектура MD решења за моделовање производних процеса и производних система дата је на Слици 8. Компоненте архитектуре које представљају предмет истраживања предложеног у овом раду уоквирене су тачкастом линијом на Слици 8. Приказана архитектура садржи компоненте који су фокус нашег истраживања, али поред њих такође садржи и компоненте које су резултат претходних истраживања, између осталог презентованих у [5], [6], [12], [13], као и компоненте које су предмет комплементарних истраживања која се баве спецификацијом материјалних

производних ресурса [7], [136] (све ове компоненте су приказане ван граница тачкасте линије). Неке од компоненти, попут генерисања документације, морају бити подржане за сваки сегмент модела, како производног система, тако и модела производних процеса. Генерисање документације у контексту овог предложеног истраживања односи се на ону документацију која је на неки начин везана за организациону структуру и раднике у контексту организације и у контексту производње.

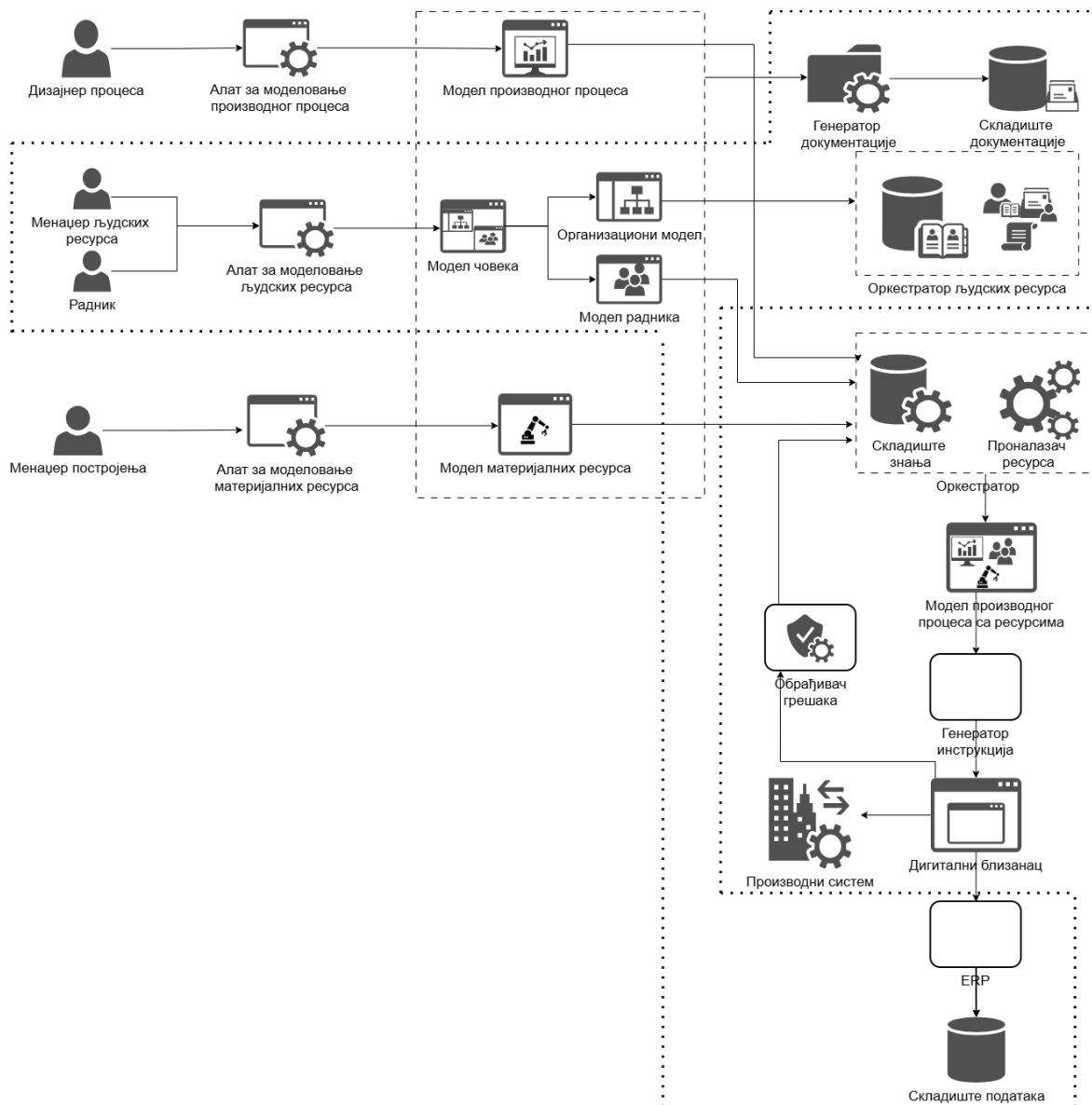
Архитектура садржи следеће компоненте:

- Алат за моделовање производног процеса (енгл. *Production Process Modeling Tool*) омогућава спецификацију модела производног процеса применом *MultiProLan* језика и то на два нивоа апстракције. На вишем нивоу апстракције производни процеси се моделују независно од конкретног производног система и овакве моделе у овом раду називамо мастер моделима (енгл. *master model*). Језик *MultiProLan*, поред тога, омогућава и моделовање производних процеса за конкретни производни систем чиме подржава флексибилно и аутоматизовано распоређивање производних ресурса на пословне процесе и конкретне процесне кораке. Овакве моделе називамо детаљним моделима производног процеса (енгл. *detail model*). *MultiProLan* DSML и овај алат резултат су истраживања које је презентовано у [5], [6], [12], [13].
- Модел производног процеса (енгл. *Production Process Model*) може бити мастер и детаљни модел производног процеса. Мастер моделе пројектује дизајнер процеса. Детаљне моделе може да пројектује и дизајнер процеса, али они могу бити генерисани и аутоматски применом оркестратора. Оркестратор генерише детаљне моделе производних процеса на основу претходно креираних мастер модела, модела производног система (који укључује и моделе производних ресурса) и одговарајуће базе знања.
- Алат за моделовање материјалних производних ресурса (енгл. *Non Human Resource Model Modeling Tool*) омогућава моделовање компоненти производних система које нису људска бића и користе их менаџери постројења. Предлог одговарајућег DSML-а и архитектуре алата су део другог истраживања описаног у [7], [136].
- Модел материјалних ресурса (енгл. *Non Human Resource Model*) представља модел производних ресурса као што су машине или роботи и не укључује модел човека као ресурса у процесу производње.
- Алат за моделовање човека (енгл. *Human Modeling Tool*) представља алат за спецификацију модела човека као ресурса у организацији. Алат је првенствено намењен менаџерима људских ресурса и самим радницима. Алат је базиран на *HResModLan* DSML-у за моделовање човека. И алат за моделовање човека и његов DSML биће имплементирани користећи оквир за израду прототипа алата *Eclipse Modeling Framework EMF*. За креирање апстрактне синтаксе *HResModLan*-а биће коришћен *Ecore* мета-мета-модел. Графичка синтакса *HResModLan*-а биће креирана применом *Eclipse Sirius* оквира [137]. Поред креирања графичке конкретне синтаксе, *Sirius* оквир такође омогућава брзу имплементацију прототипа алата.
- Модел човека (енгл. *Human Model*) добијен претходно описаним алатом може бити двојак, јер се човек као ресурс може сагледати из две

перспективе. Један је модел човека као учесника у процесу производње (енгл. *Human Worker Model*), а други је организациони модел (енгл. *Organization Model*) који се фокусира на човека као учесника у организацији и организационој структури.

- Оркестратор људских ресурса (енгл. *HR Orchestrator*) је компонента која олакшава управљање људским ресурсима кроз аутоматизацију процеса, интеграцију различитих HR функција и пружање аналитичких алата за боље доношење одлука. Оркестратор људских ресурса је кључан за модернизацију HR функција у организацијама, омогућавајући им да постану агилније, ефикасније и прилагодљивије променама у пословном окружењу. Ово је компонента која има највећи потенцијал и могућности за проширења и интеграцију са неким другим системима.
- Оркестратор (енгл. *Orchestrator*) ће у овом истраживању бити коришћен за аутоматско усклађивање корака процеса са ресурсима кроз потребне и понуђене могућности и за планирање производње. Оркестратор се састоји од две компоненте, складишта знања (енгл. *Knowledge Base*) и компоненте за проналажење адекватног ресурса (енгл. *Resources Matcher*). Развој оркестратора није предмет овог истраживања али ће бити коришћен за потребе представљања употребе резултата истраживања. Развој оркестратора је приказан у истраживањима [7], [136]. У складишту знања се чувају подаци о производном процесу и ресурсима који су неопходни за процес производње. Под појмом адекватног ресурса подразумева се онај производни ресурс који је најпогоднији и расположив у тренутку када је потребно извршити процесни корак у којем је таква врста производног ресурса потребна како би се процес производње одвијао несметано.
- Детаљни модел производног процеса (енгл. *Detail Production Process Model*) представља мастер модел производног процеса допуњен спецификацијом конкретних производних ресурса који се користе у производном процесу како би се произвели одређени производи или пружиле услуге. Овај модел обухвата различите врсте ресурса, укључујући људске ресурсе, материјале, опрему, технологију и информације.
- Генератор инструкција (енгл. *Instructor Generator*) омогућава аутоматску трансформацију детаљног модела производног процеса у инструкције високог нивоа.
- Дигитални близанац (енгл. *Digital Twin*) омогућава претварање инструкција високог нивоа које шаље генератор инструкција, у инструкције специфичне за машину или инструкције читљиве за људе коришћењем уграђених комуникационих протокола и слање таквих инструкција у производни систем. Дигитални близанац ће се користити и као симулација, за тестирање креираних модела када је то потребно и његова реализација представља део другог истраживања [7], [136]. У оквиру овог рада он ће бити третиран као црна кутија.
- Систем за планирање ресурса предузећа (енгл. *Enterprise Resource Planning*) омогућавају интеграцију са другим алатима и системима који се користе у организацији. Ова интеграција омогућава повезивање ERP система са различитим екстерним апликацијама и софтверима,

што додатно унапређује ефикасност и функционалност пословних процеса. Интеграција ERP система са системом за управљање људским ресурсима омогућава организацији да ефикасније управља људским ресурсима кроз синхронизацију података и процеса. Ова интеграција омогућава аутоматско дељење информација између ERP система и система за управљање људским ресурсима, што омогућава лакше праћење и управљање подацима о запосленима, платама, бенефицијама, обукама и другим аспектима људских ресурса.



Слика 8 – Предложена архитектура MD решења

- Складиште података (енгл. *Data Storage*) је кључна компонента у којој се чувају сви подаци који су генерисани кроз процес оркестрације. То је централизована база података која служи за чување, организацију и управљање великим количинама података који настају из различитих извора током оркестрације. Складиште података омогућава ефикасно чување структурираних и неструктурираних података, као и брз приступ тим подацима ради анализе, извештавања и доношења одлука.

- Производни систем (енгл. *Production System*) представља физички простор унутар фабрике или производног погона где се одвијају конкретне производне активности. Ово укључује машине, опрему, раднике и све остале ресурсе који су потребни за производњу робе или пружање услуга. Производни систем обухвата све процесе, од набавке сировина до финалне производње, монтаже или паковања производа.
- Генератор документације (енгл. *Documentation Generator*) омогућава аутоматско генерисање производне документације различите врсте из свих, претходно поменутих модела.
- Складиште документације (енгл. *Documentation Storage*) намењено је за смештање документације која је генерисана у претходном кораку.

4 Моделовање човека у Индустирији

4.0/Индустирија 5.0 – анализа домена

Трансформација индустријских система кроз парадигме Индустирије 4.0 и новије Индустирије 5.0 довела је до значајног преобликовања улога човека у производним и организационим окружењима. Индустирија 4.0 наглашава дигитализацију, кибернетичко-физичке системе, интернет ствари и аутономне процесе [34], чиме се мења начин на који људи учествују у надзору, управљању и доношењу одлука у паметним фабрикама. С друге стране, Индустирија 5.0 доноси заокрет ка приступу усмереном на човека и фокусира се на сарадњу човека и интелигентних система, одрживост и отпорност организација [56]. У оба концепта човек остаје кључни елемент индустријских процеса, али се његова улога редефинише, постаје комплекснија и захтевнија.

У таквом окружењу моделовање човека представља изазов вишеструке природе, јер обухвата физичке, когнитивне, организационе и социјалне димензије деловања [138]. Према истраживањима из области хумано-кибер-физичких система (енгл. *Human-cyber-physical systems*) [139], људски актер треба посматрати као саставни део интегрисаног система, чије је понашање, способности и ограничења неопходно експлицитно моделовати како би се обезбедила поуздана и ефикасна интеракција са аутоматизованим и интелигентним технологијама [140]. Индустирија 5.0 додатно наглашава потребу за персонализацијом и креативном сарадњом човека и машина, што значи да домен у коме се човек налази постаје променљив, динамичан и изразито зависан од контекста примене.

Анализа домена у овом поглављу има за циљ да идентификује кључне улоге, функције, компетенције и интеракције човека у модерним индустријским системима, као и да детектује заједничке и променљиве елементе који се појављују у различитим сценаријима производње и организационих процеса. Како истичу у [141], анализа домена представља основу за систематично моделовање комплексних система, јер омогућава препознавање структура, функција и варијација које су релевантне за даљи развој модела. У контексту овог рада, резултат анализе домена биће организован у форми FODA модела, који ће пружити јасан и хијерархијски приказ особина човека у индустријском окружењу, олакшавајући каснију формализацију и генерисање захтева за језик за моделовање.

Овај увод поставља темељ за даљу разраду основних FODA концепата, примену анализе домена у индустријском контексту и идентификацију захтева које мора да испуни језик за моделовање човека у организацији и производњи. На тај начин обезбеђује се систематичан приступ разумевању људског фактора у ери напредних, интелигентних и све више индустријских система усмерених на човека.

4.1 Основни FODA концепти

FODA представља један од најутицајнијих методолошких приступа у области инжењеринга софтверских производних линија. Развијена је крајем осамдесетих година на Институту за софтверско инжењерство (енгл. *Software Engineering Institute, SEI*) при универзитету *Carnegie Mellon*, као део напора да се унапреди систематски развој сродних софтверских система. Кључно дело које је поставило темеље FODA-е јесте извештај Канга и сарадника из 1990. године [142], у којем је први пут формализован концепт особина (енгл. *features*) као централних елемената домена. У том периоду индустрија је препознавала растућу потребу за ефикасним методама поновне употребе знања и компонената, те је FODA пружила теоријски и практични

оквир за идентификацију заједничких карактеристика и варијабилности унутар великих софтверских породица.

У својој основи, FODA пружа систематичан начин за описивање домена кроз особине које корисник види као вредност. Уместо да се анализира појединачни систем, FODA посматра цео домен и његове производе кроз апстракције које омогућавају јасан увид у поновљиве структуре и тачке варијације. Особине се организују у модел особина (енгл. *feature model*), хијерархијско стабло које омогућава приказ односа обавезности, опционалности и избора између различитих функционалности. Као што истичу Цзарнецки и Еисенецкер у [143], овакав приступ омогућава ниво апстракције који знатно олакшава конфигурацију различитих софтверских решења и представља кључну основу за развој концепта софтверских производних линија.

Примена анализе домена оријентисане на карактеристике FODA посебно је изражена у оквиру инжењерства линије софтверских производа (енгл. *Software Product Line Engineering, SPLE*), дисциплине која систематски користи заједничке артефакте како би омогућила развој читавог низа сродних софтверских система. Донохое [144] и Нортроп [145] истичу да је FODA кључна у дефинисању архитектура и платформи у којима се различите верзије производа могу брзо конфигурирати на основу предефинисаног модела особина. Данас се користи у различитим индустријама: од аутомобилског и телекомуникационог сектора, преко медицинских система, до развоја мобилних апликација. Кливленд и сарадници у [146] наглашавају да управо захваљујући концептима FODA-е, попут експлицитне варијабилности, организације могу постићи значајне уштеде у времену и трошковима развоја.

Кључни концепти FODA-е укључују дефинисање особина као примарних јединица анализе, затим израду модела особина и дефинисање односа међу њима (обавезни, опциони, алтернативни). Канг и сарадници у [147] Ове идеје су додатно проширене кроз метод поновне употребе оријентисан на карактеристике (енгл. *Feature-Oriented Reuse Method, FORM*), потврђујући вредност FODA приступа и његову улогу у архитектонском дизајну. Процеси анализе заједничких карактеристика и варијабилности, које описују Похл и сарадници у [148], обезбеђују темељно разумевање заједничких и променљивих елемената домена, док доменско одређивање обухвата и доменска анализа дефинишу границе и карактеристике анализираног простора. Крајњи циљ је конфигурација производа, тј. избор комбинација особина које ће дефинисати конкретно софтверско решење.

У целини гледано, FODA је поставила темеље савременог разумевања варијабилности у софтверском инжењерингу. Она не представља само технику моделирања већ и филозофију развоја софтвера засновану на поновној употреби, систематичности и унапређењу продуктивности. Кроз јасне структуре и експлицитно представљање разлика међу производима, FODA и данас остаје незаобилазна метода у пројектовању комплексних, флексибилних и одрживих софтверских породица.

4.2 Анализа домена

Анализа домена представља кључни корак у разумевању, структурисању и формализовању карактеристика улоге човека у савременим индустријским окружењима. Као методолошки процес, анализа домена омогућава идентификовање фундаменталних елемената једног сложеног система, његових функција, актера, интеракција, ограничења и могућих варијација. Према Полу, Беклеу и ван дер Линдену [148], анализа домена служи као основа за развој модела који обухватају заједничке карактеристике (енгл. *commonality*) тачке диференцијације (енгл.

variability), што је од суштинске важности за све приступе засноване на производним линијама софтвера и системским моделовањем.

У контексту моделовања човека у Индустрији 4.0 и Индустрији 5.0, анализа домена добија посебно место, јер омогућава структурирано разумевање различитих улога које човек може заузимати у кибернетичко-физичким и системима усмереним на човека. Савремена литература наглашава да човек у таквим системима више није статични оператер, већ адаптивни и когнитивно ангажовани актер који функционише у динамичним интеракцијама са аутоматизованим, интелигентним и колаборативним технологијама [149], [150]. Стога, анализа домена мора обухватити широк спектар аспеката, од физичких и когнитивних способности, преко компетенција и одговорности, до сарадње са роботима, информационим системима и организационим структурама.

Сврха овог поглавља јесте да идентификује и систематизује кључне елементе домена потребне за изградњу FODA модела човека у контексту индустријских трансформација. Процес анализе домена обухвата преглед релевантне литературе, анализу практичних сценарија из индустрије, као и издвајање улога, задатака и интеракција које се јављају у различитим технолошким и организационим условима. Према [142], овакав приступ омогућава изградњу формализованог скупа особина које репрезентују домен, при чему се јасно разграничавају обавезне, опционе и алтернативне карактеристике.

На основу идентификованих елемената биће развијени FODA модели који приказују хијерархијску структуру особина везаних за улогу човека у производним и организационим процесима. Ови модели служиће као концептуална основа за даљу формализацију, евалуацију и дефинисање захтева језика за моделовање човека у Индустрији 4.0 и Индустрији 5.0, који се обрађују у наредним поглављима.

Дефинисање граница домена представља први и један од најкритичнијих корака анализе домена, јер омогућава јасно одређивање обухвата система који се моделује. Према препорукама Канг и сарадника [142] и Похл и сарадника [148], прецизно одређивање граница нужно је како би се избегла преширока или сувише уска анализа, те како би се осигурало да FODA модел верно одражава реалне потребе и карактеристике посматраног окружења.

У оквиру овог рада, домен обухвата улогу човека у индустријским системима заснованим на парадигмама Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0. Фокус је стављен на човека као активног актера у интеракцији са паметним машинама, дигиталним платформама, колаборативним роботима, информационим системима и организационим структурама. Анализа укључује задатке које човек обавља, ниво аутономије, врсте интеракција са технологијама, потребне компетенције и улоге у процесима доношења одлука.

Истовремено, важно је јасно нагласити шта није укључено у домен. Ова анализа не обухвата детаљно моделовање техничких карактеристика машина, алгоритама вештачке интелигенције, мрежне инфраструктуре или економских аспеката индустријских система. Такође, не бавимо се индивидуалним психолошким профилима радника, већ њиховим функционалним улогама у контексту система. Тиме се омогућава фокус на елементе који су директно релевантни за формирање FODA модела човека, без скретања пажње на области које нису предмет овог истраживања.

У складу са препорукама из литературе, границе домена дефинишу се и кроз идентификацију кључних сценарија употребе. У Индустрији 4.0 они типично укључују надзор аутоматизованих система, оптимизацију процеса на основу података у реалном времену и интеракцију са кибернетичко-физичким системима. У Индустрији 5.0 додатно се појављују сценарији сарадње човека и интелигентних

машина, креативног решавања проблема, адаптивног планирања и управљања усмереног на човека [151], [149]. Ови сценарији чине основу за касније идентификовање особина у FODA моделима, као и за разликовање обавезних и варијантних елемената у оквиру домена.

На основу тако прецизно постављених граница, омогућено је методолошки утемељено извођење анализе домена и изградња модела особина који ће бити представљени у наредним подпоглављима. Ови модели послужиће као концептуална основа за развој језика за моделовање човека у индустријским системима нове генерације.

Идентификација кључних елемената домена представља један од кључних корака у анализи домена, јер омогућава дубинско разумевање човека као актера у савременим индустријским и организационим системима. У окружењима обликованим парадигмама Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, човек више не делује само као појединац који обавља радне задатке, већ као интегрални део ширег дигиталног и социо-техничког екосистема. Примена методологије FODA омогућава систематично препознавање обавезних и варијабилних карактеристика овог домена, при чему се људске улоге, задаци, компетенције и интеракције посматрају кроз њихову међусобну међузависност и динамику [142].

Улоге човека у индустријским системима добијају вишеструке димензије, што се јасно види у FODA моделу запосленог. Запослени више није посматран само као носилац једног радног задатка, већ као субјекат са формалним статусом, професионалним идентитетом, стеченим компетенцијама и позицијом у организационој структури. Улога запосленог надопуњује се његовим функцијама у комуникационим и ауторитативним токовима унутар организације, што је посебно изражено у моделу организационе јединице, где се приказују формалне и неформалне структуре ауторитета. Паралелно с тим, савремени радник учествује и у директним интеракцијама са кибернетичко-физичким системима, чиме се остварује концепт човека као продукционог ресурса, елемента који доприноси ефикасности и адаптивности процеса [152].

Задаци које човек обавља у индустријским окружењима обликују се у складу са структуром радног места и организационим захтевима. Кроз FODA моделе постаје јасно да ти задаци обухватају широки опсег активности: од оперативних и мануелних, преко административних и организационих, до когнитивних и надзорних функција које захтевају доношење одлука на основу података и ситуационих аналитичких процена. Задаци су нераскидиво повезани са регулаторним и безбедносним аспектима рада, што модел јасно приказује кроз елементе уговора, правних аката и обука из области безбедности и здравља на раду. Ово одражава реалност индустријских окружења у којима се високи технолошки ризици и аутономни системи морају ускладити са приступом усмереним на човека и заштитом радника.

Компетенције запосленог представљају једну од најкомплекснијих категорија идентификованих у оквиру домена. Формалне квалификације попут диплома, лиценци и сертификата чине темељ професионалног развоја, док специфичне професионалне вештине, позициониране у моделима кроз *Workplace Skill*, омогућавају обављање задатака у технолошки захтевним производним окружењима. *Soft skills*, све важније у контексту тимског рада, адаптивности и комуникације са дигиталним системима, додатно продубљују слику комплексности људског фактора [153]. Улога квалификационих нивоа (енгл. *Professional Qualification Level*, PQL) доприноси још финијој диференцијацији међу радницима и омогућава усклађивање комплексности задатака са нивоом стручности.

Интеракције човека са индустријским и организационим системима чине завршну, али подједнако важну димензију идентификованих елемената домена. Оне обухватају односе са организационим структурама, токовима информација, захтевима радног места, правним оквиром и системима безбедности. Ове интеракције постају нарочито важне у индустријским окружењима где се човек креће између аутономних система, дигиталних платформи и формалних организационих токова, па домен обухвата и формалне и неформалне видове комуникације, сарадње и управљања. FODA модели овде пружају јасан и структуриран приказ начина на које се ове интеракције одвијају и трансформишу у контексту технолошких промена.

Као резултат ових идентификација, домен се обликује као сложен, вишедимензионалан систем у коме се преплићу карактеристике човека, организације и технологије. Овај структурирани скуп елемената представља основ за изградњу FODA модела који следе у наредном поглављу и који омогућавају њихову формалну и визуелну репрезентацију.

4.2.1 FODA модели домена и њихова интерпретација

Развијени FODA модели пружају формални оквир за разумевање човека као актера на више нивоа, индивидуалном, организационом и стратешком, и тиме омогућавају сагледавање домена у његовој пуној комплексности. Сваки модел представља одређени аспект односа између човека и индустријског система, при чему заједно формирају кохерентну слику целокупног екосистема у коме функционишу савремене организације.

Модел запосленог представља основни ниво анализе, фокусиран на карактеристике појединца. Овај модел приказује запосленог као ентитет чије се особине развијају кроз професионалне квалификације, компетенције, радно искуство и специјализоване обуке. У њему се јасно разликују формални елементи професионалног идентитета, попут диплома, лиценци, сертификата и професија, као и елементи који приказују адаптивност и динамику радника у систему, попут статуса запослења или његове улоге у производном процесу. У контексту индустрија заснованих на дигиталним технологијама, ове карактеристике омогућавају прецизно мапирање разлика међу радницима, њихову способност да одговоре на специфичне задатке и њихово место у организационој структури.

Модел организационе јединице уводи комплекснију перспективу у којој се појединачни радник посматра у односу на радну средину, организациону структуру и формалне процесе. У овом моделу идентификују се односи ауторитета, формални и неформални канали одлучивања, професионални захтеви радног места и нормативни елементи који обликују рад у организацији. Модел омогућава разумевање начина на који се компетенције запосленог интегришу у организационе токове и како специфичне професионалне улоге доприносе укупној ефикасности и стабилности организационе јединице. Кроз системе квалификација и захтева радног места модел јасно приказује логику расподеле рада и диференцијације улога.

Модел организације представља најшири ниво и дефинише контекст у коме се одвијају све претходно идентификоване динамике. На овом нивоу организација се посматра кроз структуре, професионалне профиле, правне акте и типове вештина које чине њен људски и институционални капацитет. Различити типови организационих структура, хијерархијске, функционалне, мрежне, холократске и друге, одређују начин координације, управљања и комуникације међу запосленима. Тиме модел приказује како шири организациони контекст обликује рад запосленог и организационе јединице, али и како људски потенцијал утиче на стратешко позиционирање организације у индустријском екосистему.

Модел конфигурације производног система (енгл. *Resource & Organizational Variability Model*) представља структурни оквир у коме се интегришу организационе структуре, људски ресурси, технички ресурси и капабилитети система. У овом моделу производни систем се посматра као социо-техничка целина у којој су организациони типови, величина организације, професионални профили запослених, технички ресурси (машине, роботи, алати) и њихове особине формално повезани у јединствену конфигурациону структуру. Модел омогућава сагледавање начина на који се капацитети система граде кроз комбинацију људских компетенција и техничких могућности, при чему кардиналности и варијабилности рефлектују флексибилност савремених индустријских окружења. На овај начин се обезбеђује формална основа за анализу различитих конфигурација производних система и њихових структурних карактеристика.

Модел извршења производње и интеракције (енгл. *Process & Interaction Variability Model*) фокусира се на оперативну димензију система, односно на начин на који се производни процеси реализују у пракси. Овај модел обухвата структуру процесних корака, нивое аутоматизације и облике интеракције између човека и машине. Кроз идентификацију типова корака, начина њиховог означавања, статуса реализације и ресурсних веза, модел формализује ток рада и динамику извршења задатака. Посебну улогу има моделовање нивоа аутоматизације (ручно, полуаутоматизовано, потпуно аутоматизовано) и различитих модалитета интеракције (глас, гест, додир, проширена реалност и др.), чиме се јасно приказује како човек и технички систем заједнички учествују у реализацији производних активности. Тиме се оперативни ниво система сагледава као динамичка и прилагодљива структура у којој су процеси, технологија и људски фактор међусобно условљени.

Модел знања, иновација и унапређења (енгл. *Knowledge, Innovation & Evolution Model*) уводи еволутивну и развојну димензију производног система. Овај модел обухвата управљање знањем, процесе иновација и механизме континуираног унапређења, омогућавајући формално представљање начина на који се систем мења и развија током времена. Кроз варијабилности везане за типове знања, утицаје иновација, нивое транспарентности, приоритете и статусе захтева за унапређење, модел приказује како се искуство, експертиза и стратешке одлуке институционализују унутар организације. На тај начин систем се не посматра само као статична структура ресурса и процеса, већ као еволутивни ентитет способан за адаптацију, оптимизацију и стратешко позиционирање у индустријском окружењу.

Када се сагледају у целини, FODA модели омогућавају прецизну и вишеслојну репрезентацију домена који обухвата човека, организациону јединицу, организацију, техничке ресурсе, оперативне процесе и еволутивне механизме као међусобно повезане и условљене ентитете. Оваква формализација не само да осветљава међусобне односе ових елемената, већ поставља и чврст методолошки темељ за развој специјализованог језика за моделовање човека и социо-техничких система у индустријским окружењима, што представља следећи корак у овом истраживању.

На основу идентификованих елемената домена развијен је скуп међусобно повезаних FODA модела који обухватају индивидуални, организациони, структурно-технички, оперативни и еволутивни ниво система. Ови модели визуелно и формално представљају структуру домена и начин на који се улоге, компетенције, ресурси, задаци, процеси и интеракције манифестују у индустријском окружењу. Сваки модел приказује одређени ниво апстракције, и то појединачни, организациони, структурни, оперативни и развојни, чиме се домен посматра као вишеслојни социо-технички систем у коме је човек интегрисан у различите процесе, технологије и структуре.

У наставку су приказани модели са детаљним описима и интерпретацијом.

4.2.1.1 FODA модел организације (*Organization*)

Обележје Организација (*Organization*) је корен FODA стабла приказаног на Слици 9. Организације могу бити структурисане на различите начине. Организацијска структура представља начин на који су елементи, подсистеми, делови, улоге, одговорности, овлашћења, комуникациони системи и други елементи организовани и распоређени унутар организације.

Организације могу припадати различитим типовима организационих структура (*Organization Structure Type*): хијерархијска (*Hierarchical*), функционална (*Functional*), матрична (*Matrix*), равна (*Flat*), дивизиона (*Divisional*), мрежна (*Network*), линијска (*Line*), тимски заснована (*Team Based*), кружна (*Circular*), процесно заснована (*Process Based*), холакратична (*Holacratic*) и хибридна (*Hybrid*). *HResModLan:Org DSML* мора да подржи моделовање различитих организационих структура.

Организације се разликују и према броју запослених (*Organization Size*), и то:

- Микро – мање од 10 запослених,
- Мала – од 10 до 49 запослених,
- Средња – од 50 до 249 запослених,
- Велика – 250 или више запослених.

Свака организација има више типова организационих јединица (*Organization Unit Types*). На пример, производна компанија може имати следеће типове организационих јединица: фабрика (*Factory*), сектор (*Sector*), одељење (*Department*) и одсек (*Section*), док универзитет може имати типове као што су: универзитет (*University*), служба (*Office*), факултет (*Faculty*), катедра/одељење (*Department*) и ужа организациона јединица, као што је катедра (*Chair*).

Обележје *Organization Unit Type* омогућава дефинисање типова организационих јединица за конкретну организацију.

Организација, по правилу, има више, понекад веома много, организационих јединица. Свака од њих се повезује са једним типом организационе јединице. Обележје *Organization Unit* је сложено, детаљно је приказано на Слици 9 и биће описано у једном од наредних пасуса.

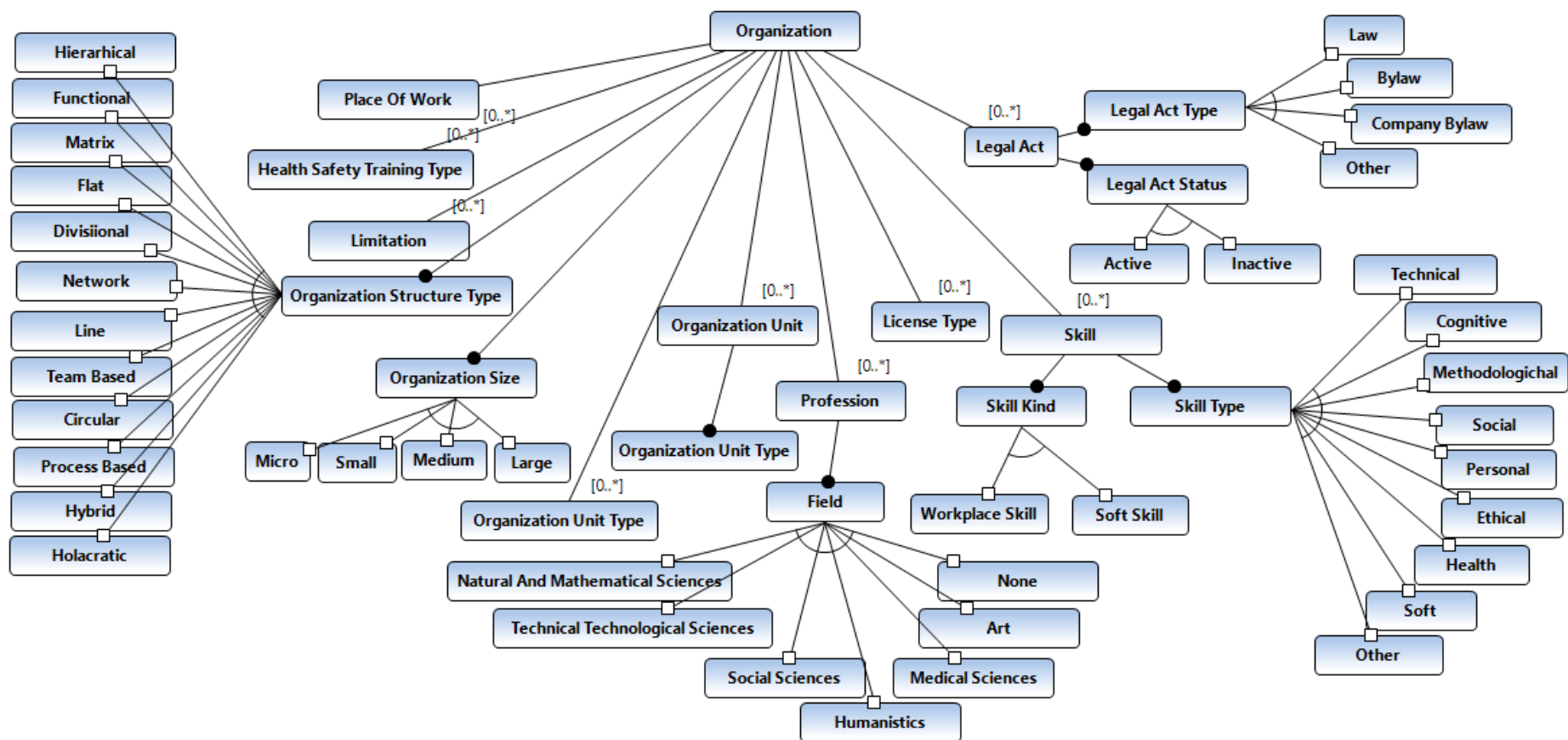
Све организације морају да поштују релевантне законе и подзаконске акте. За сваку организацију се одређују релевантни правни акти (*Legal Act*). Важно је пратити и правне акте који су стављени ван снаге. Због тога сваки правни акт може имати један од два статуса (*Legal Act Status*): *Active* (активан) или *Inactive* (неактиван).

Правни акт може бити једног од следећих типова (*Legal Act Type*): *Law* (закон), *Bylaw* (подзаконски акт), *Company Bylaw* (акт компаније) или *Other* (остало). Последњи тип (*Other*) односи се на друге врсте аката, као што су интерни акти организације (писане процедуре, планови).

Организационе јединице унутар организације могу бити лоциране на различитим местима које називамо места рада (*Place of Work*), а запослени могу бити распоређени/релокирани на та места.

Радна места унутар организационих јединица имају различите врсте захтева, као што су: звање/занимање (*Profession*), вештина (*Skill*), тип лиценце (*License Type*) и тип обуке из области безбедности и здравља на раду (*Health & Safety Training Type*).

Ове карактеристике су представљене као под-обележја обележја *Organization*, зато што се могу делити између различитих организационих јединица и различитих радних места.



Слика 9 – FODA модел организације (*Organization*)

За свако звање/занимање може се одредити научно-стручна област (*Field*), као што су: природне и математичке науке (*Natural and Mathematical Sciences*), техничко-технолошке науке (*Technical Technological Sciences*), друштvene науке (*Social Sciences*), хуманистичке науке (*Humanistic*), медицинске науке (*Medical Sciences*), уметност (*Art*) и *None* (ниједна).

Врста вештине може бити: *Workplace Skill* (вештина везана за радно место) или *Soft Skill* (меке вештине).

За сваку вештину може се одредити тип вештине (*Skill Type*), као што су: техничка (*Technical*), когнитивна (*Cognitive*), методолошка (*Methodological*), социјална (*Social*), лична (*Personal*), етичка (*Ethical*), здравствена (*Health*), soft (*Soft*) и остало (*Other*).

4.2.1.2 FODA модел организационе јединице (*Organization Unit*)

Обележје *Organization Unit* (Организациона јединица) је корен FODA стабла приказаног на Слици 10.

Већина организационих јединица унутар организације нису правна лица и не могу бити субјекти правних послова. Сходно томе, организационе јединице које јесу правна лица издвајају се обележјем *Legal Person*. Само ове организационе јединице могу наступати као послодавци.

Однос између послодавца и запосленог уређен је уговором о раду (*Employment Contract*), који мора бити закључен у складу са законом.

За сваку организациону јединицу која има статус правног лица постоји више запослених (*Employee*) који су потписали један или више уговора о раду (*Employment Contract*).

Уговором о раду утврђују се услови запослења, права, обавезе и дужности запосленог.

Запослени може имати више од једног уговора о раду са истим послодавцем, и ти уговори могу имати различити статус (*Contract Status*), али само један од тих уговора може имати активан статус (*Active*), док остали имају неактиван статус (*Inactive*).

Околности под којима је одређени уговор закључен могу се променити током периода од заснивања радног односа до његовог престанка, па је потребно прилагођавати уговор тим променама. У ту сврху послодавац и запослени могу закључити анекс уговора о раду (*Annex*).

Актуелни детаљи запослења бележе се у принципијелној изјави (*Principle Statement*). Они могу бити уговорени у самом уговору о раду или у неком од његових анекса.

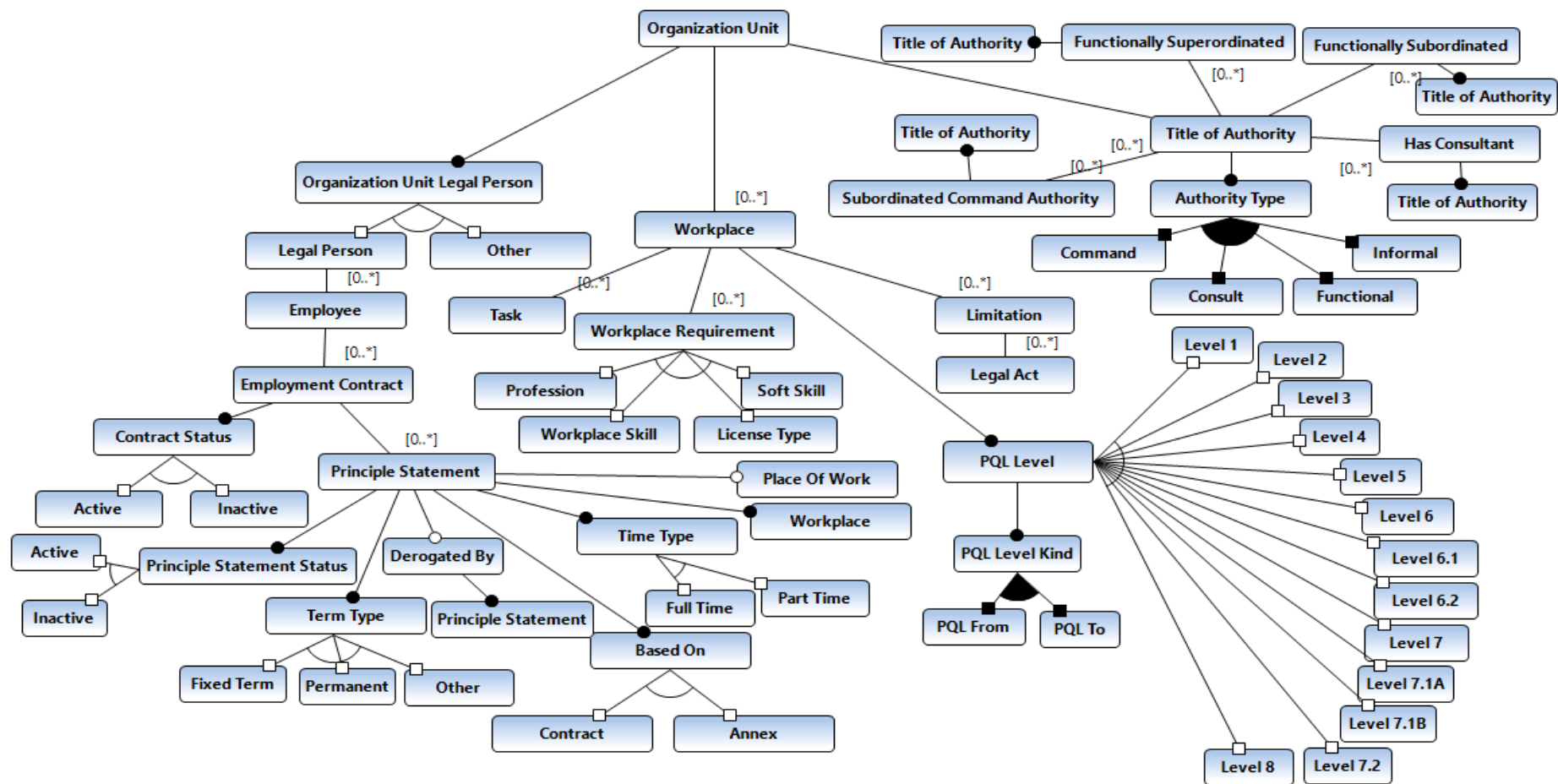
Обележје *Based On* служи за навођење да ли се принципијелна изјава заснива на уговору (*Contract*) или на његовом анексу (*Annex*).

Статус принципијелне изјаве одређује се обележјем *Principle Statement Status*. Само једна од принципијелних изјава које проистичу из одређеног уговора или неког његовог анекса може бити у активном статусу (*Active*), док су остале у неактивном статусу (*Inactive*).

Неактивна принципијелна изјава је стављена ван снаге принципијелном изјавом означеном обележјем *Derogated By*.

Принципијелна изјава се креира за једно радно место (*Workplace*) и једно место рада (*Place of Work*).

Запослење може бити различитог типа у погледу трајања (*Term Type*): на одређено време (*Fixed Term*), на неодређено време (*Permanent*) или *Other* (остало).



Слика 10 – FODA модел организационе јединице (*Organization Unit*)

Може бити уговорено као пуно радно време (*Full Time*) или непуно радно време (*Part Time*), што се одређује обележјем *Time Type*.

Организациона јединица, без обзира на то да ли има статус правног лица или не, може имати више радних места (*Workplace*).

Свако радно место карактеришу:

- скуп задатака (*Task*) који представљају одговорности запосленог,
- скуп захтева радног места (*Workplace Requirements*),
- интервал нивоа професионалних квалификација (*PQL Level*) који су одговарајући за то радно место,
- скуп ограничења радног места (*Limitation*).

Захтев радног места може представљати:

- *Profession* – формално образовање,
- *Workplace Skill* – додатно образовање/стручна обука,
- *License Type* – лиценце, као што су возачка дозвола или лекарска лиценца,
- *Soft Skill* – меке вештине.

PQL Level може бити један од следећих: *Level 1, Level 2, Level 3, Level 4, Level 5, Level 6, Level 6.1, Level 6.2, Level 7, Level 7.1A, Level 7.1B, Level 7.2* или *Level 8*.

Могуће је одредити једну или обе границе интервала: *PQL From* и *PQL To*.

Радно место може имати одређена ограничења (*Limitation*) која морају бити регулисана неким правним актом (*Legal Act*). На пример, може постојати ограничење за радно место које укључује ноћни рад, којим се забрањује запошљавање лица млађих од 18 година на таквом радном месту.

Title of Authority (титула овлашћења) је званична ознака функције или положаја у организацији која је повезана са одређеним овлашћењима и одговорностима.

Организациона јединица, без обзира на то да ли има статус правног лица или не, може имати више титула овлашћења (*Title of Authority*).

Могуће је да је титула овлашћења истовремено и радно место и титула, као што је радно место *Sales Manager* (менаџер продаје). Међутим, могуће је и да титула овлашћења није радно место.

На пример, запослени на факултету је запослен као редовни професор (према уговору о раду), а може бити именован на позиције шефа катедре (*Head of Chair*) и продекана (*Vice Dean*).

Свака титула овлашћења може имати више типова овлашћења (*Authority Type*) у исто време: *Command* (командно), *Consult* (консултативно), *Functional* (функционално) и *Informal* (информално).

За командне титуле могуће је навести титуле које су им непосредно подређене (*Subordinated Command Authority*).

Свака титула може забележити титуле које је консултују (*Has Consultant*), на пример, директор компаније који има две помоћничке директорске функције као консултативне титуле: помоћник директора за продају (*Assistant Sales Director*) и помоћник директора за производњу и технологију (*Assistant Director for Production and Technology*).

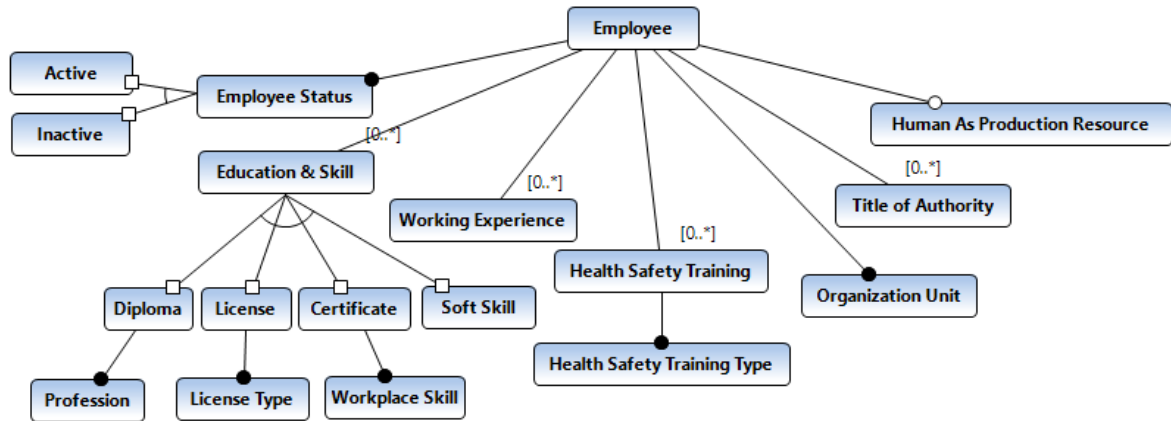
За титуле са функционалним овлашћењем могуће је навести све функционално подређене титуле (*Functionally Subordinated*) и све функционално надређене титуле (*Functionally Superordinated*).

4.2.1.3 FODA модел запосленог (*Employee*)

Обележје *Employee* (Запослени) је корен FODA стабла приказаног на Слици 11.

Статус сваког запосленог (*Employee Status*) може бити: *Active* (активан) или *Inactive* (неактиван).

Запослени је квалификован за одређено радно место својим формалним и додатним образовањем, поседовањем потребних лиценци, меким вештинама и радним искуством.



Слика 11 – FODA модел запосленог (*Employee*)

Обележје *Education & Skill* може бити једно од следећег:

- *Diploma* – доказ о формалном образовању (*Profession*),
- *Certificate* – доказ о додатном образовању/обуци (*Workplace Skill*),
- *License* – доказ о поседовању траженог типа лиценце (*License Type*),
- *Soft Skill* – меке вештине.

Претходно радно искуство запосленог евидентира се обележјем *Working Experience*.

Запослени је фактички додељен одређеној организационој јединици (*Organization Unit*) и именован на скуп титула овлашћења (*Title of Authority*), који може бити и празан скуп (нема титула).

Током радног односа запослени може похађати више обука из области безбедности и здравља на раду (*Health Safety Training*). Свака од ових обука везана је за одређени тип обуке (*Health Safety Training Type*).

4.2.1.4 FODA модел конфигурације производног система (*Production System Configuration*)

Обележје *ProductionSystemConfiguration* које представља конфигурацију производног система, је корен FODA стабла приказаног на Слици 12. Овај модел формализује структуру производног система као интегрисане социо-техничке целине у којој су организациони, људски, технички и функционални елементи међусобно повезани. Циљ модела је да омогући приказ различитих конфигурација производних система кроз јасно дефинисане варијабилности и њихове комбинације.

Конфигурација производног система заснива се на четири основна обележја: *OrganizationalStructure*, *HumanResources*, *TechnicalResources* и *CapabilityProfile*, која заједно дефинишу структурне и функционалне карактеристике система.

Обележје *OrganizationalStructure* дефинише институционални и структурни оквир у коме производни систем функционише. Оно обухвата тип организације (*OrganizationType*) и величину организације (*OrganizationSize*).

Организације могу имати различите типове организационе структуре: хијерархијску (*Hierarchical*), функционалну (*Functional*), матричну (*Matrix*), равну (*Flat*), дивизиону (*Divisional*), мрежну (*Network*), линијску (*Line*), тимски засновану (*Team Based*), кружну (*Circular*), процесно засновану (*Process Based*), холакратичну (*Holacratic*) или хибридну (*Hybrid*). Избор типа организационе структуре одређује начин расподеле одговорности, управљања, комуникације и координације унутар система.

Организације се разликују и према броју запослених (*OrganizationSize*), и то на микро, мале, средње и велике. Величина организације утиче на сложеност процеса, број организационих јединица и обим управљања ресурсима.

Овим обележјем дефинише се контекст у коме се одвијају све остале активности производног система.

Обележје *HumanResources* представља људску компоненту производног система и омогућава моделовање професионалних карактеристика запослених који учествују у производним процесима.

У оквиру обележја *OperatorType* разликују се следећи типови оператера: *Operator*, *Technician*, *Supervisor*, *Inspector* и *MaterialHandler*. Ови типови представљају различите професионалне улоге у производном окружењу, са различитим нивоима одговорности и стручности.

Ниво формалне квалификације дефинише се обележјем *QualificationLevel*, које може имати вредности: *Basic*, *Intermediate* и *Advanced*. Овим се моделује формално образовање и стручна оспособљеност запослених.

Еколошке компетенције моделују се обележјем *GreenSkillLevel*, које може бити: *Low*, *Medium*, *High* или *Expert*. На тај начин се у модел уводи димензија одрживости и еколошке свести у оквиру производних система.

Додатно, модел омогућава дефинисање обележја *EthicalCompliance*, које се односи на етичку усклађеност запослених са прописима и стандардима, као и обележја *AdaptabilityProfile* и *SustainabilityProfile*, која представљају способност прилагођавања променама и допринос одрживом развоју система.

Овим обележјем се наглашава значај људског фактора као носиоца компетенција и оперативних способности система.

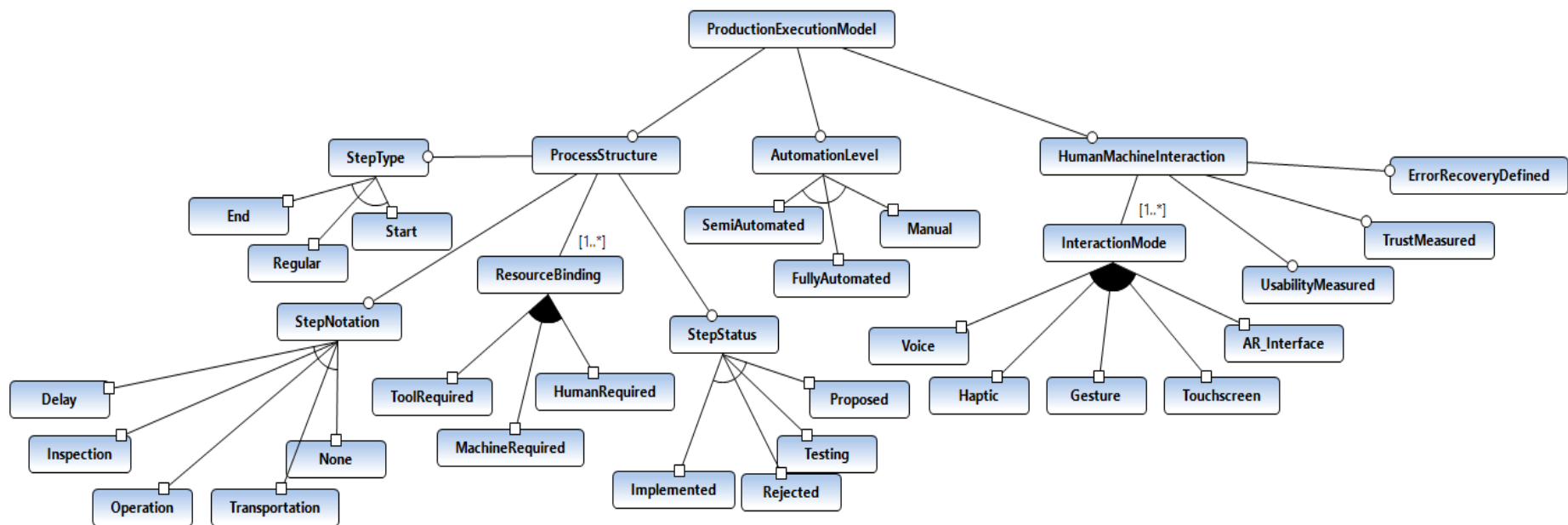
Обележје *TechnicalResources* односи се на техничку инфраструктуру производног система и обухвата типове ресурса, њихове карактеристике и специфичне функционалне особине.

У оквиру обележја *ResourceType* разликују се три основна типа ресурса: *Machine* (машина), *Robot* (робот) и *Tool* (алат). Конфигурација система може укључивати један или више типова техничких ресурса, у зависности од сложености и нивоа аутоматизације система.

За машине се дефинише обележје *MachineType*, које може имати следеће вредности: *Workstation*, *MaterialHandling*, *Testing*, *Production* и *Inspection*. Овим се разликују функционалне категорије машина у оквиру производног процеса.

За роботе се користи обележје *RobotType*, са вредностима: *Cobot*, *Industrial* и *Mobile*. На тај начин модел омогућава разликовање колаборативних, индустријских и мобилних роботских система.

Додатно, обележје *ResourceProperties* омогућава спецификацију техничких особина ресурса, као што су *IsActuator* (актуаторска функција), *IsStorage* (складишна функција) и *IsCPS* (cyber-physical system). Овим се моделују технолошке



Слика 12 – FODA модел конфигурације производног система (*Production System Configuration*)

карактеристике савремених производних система, посебно у контексту Индустије 4.0.

Обележје *CapabilityProfile* представља функционалну димензију производног система и дефинише његове способности.

Капабилитет може бити атомаран (*AtomicCapability*), што подразумева једноставну, појединачну функцију система, или композитан (*CompositeCapability*), који представља сложену способност насталу комбинацијом више атомарних капабилитета.

Овим обележјем могуће је додатно дефинисати да капабилитет захтева складиштење (*RequiresStorage*) или да је условљен одређеним ограничењима (*ConstraintDefined*), чиме се прецизније моделују функционални захтеви и оперативна правила система.

CapabilityProfile повезује организациону структуру, људске ресурсе и техничке ресурсе са конкретним функционалним могућностима система, чиме се омогућава анализа компатибилности и усклађености ресурса са циљевима производње.

Овај FODA модел омогућава систематско моделовање различитих конфигурација производног система кроз комбинацију организационих, људских и техничких варијабилности. Тиме се обезбеђује формална основа за анализу структурне флексибилности система и разумевање начина на који различите конфигурације утичу на перформансе, ефикасност и одрживост производног окружења.

4.2.1.5 FODA модел извршења производње и интеракције (*Production Execution Model*)

Обележје *ProductionExecutionModel* (Модел извршења производње) је корен FODA стабла приказаног на Слици 13. Овај модел формализује оперативну димензију производног система и описује начин на који се производни процеси реализују, ресурси ангажују и човек остварује интеракцију са техничким системом.

Модел се састоји од четири основна обележја: *ProcessStructure*, *AutomationLevel*, *HumanMachineInteraction* и њихових под-обележја, која заједно дефинишу динамику и структуру извршења производних активности.

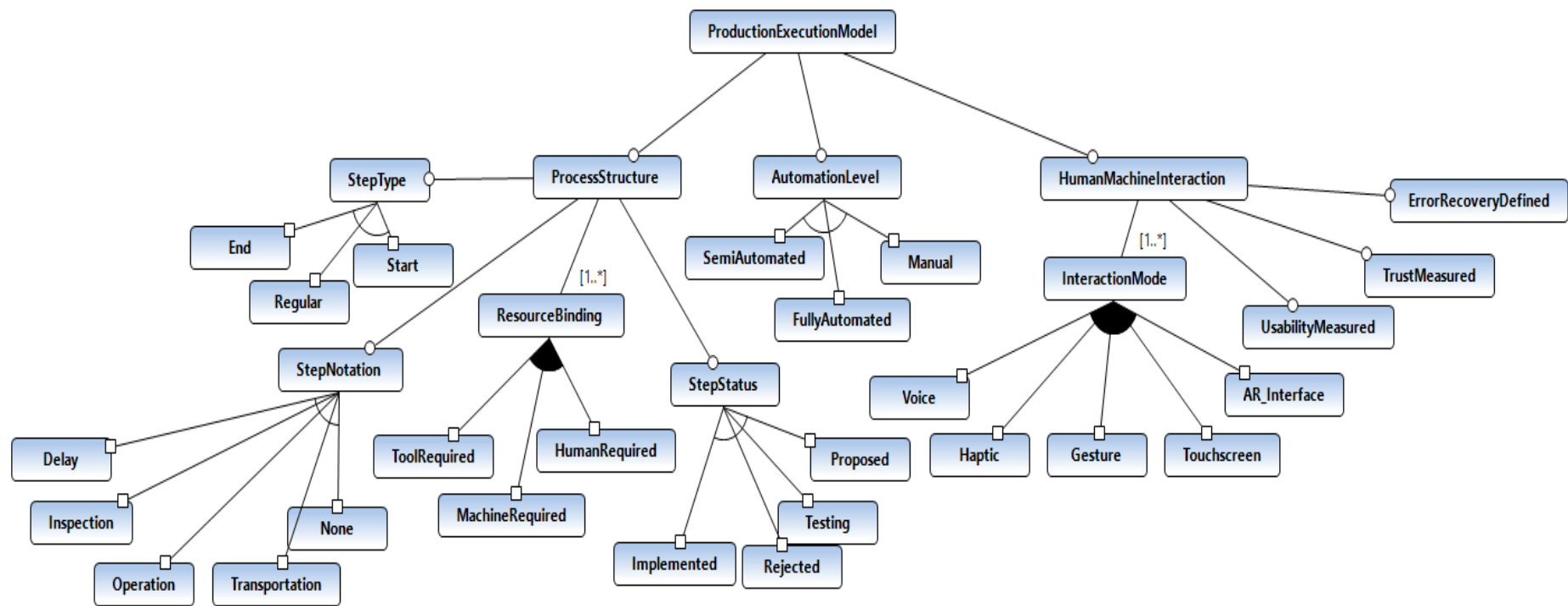
Обележје *ProcessStructure* описује структуру производног процеса кроз дефинисање типова корака, њихове нотације, ресурсних веза и статуса реализације.

У оквиру обележја *StepType* разликују се следећи типови процесних корака: *Start*, *Regular* и *End*. Овим се дефинише логичка позиција корака унутар процеса.

Обележје *StepNotation* омогућава класификацију корака према њиховој функционалној природи. Кораци могу бити: *Operation* (операција), *Inspection* (инспекција), *Delay* (застој), *Transportation* (транспорт) или *None* (без посебне ознаке). На тај начин модел омогућава детаљнију анализу тока процеса.

Обележје *ResourceBinding* дефинише везу између процесног корака и ресурса који су потребни за његово извршење. Корак може захтевати *ToolRequired* (алат), *HumanRequired* (људски ресурс) и/или *MachineRequired* (машину). Тиме се формализује ангажовање различитих типова ресурса у оквиру производног тока.

Статус реализације корака моделује се обележјем *StepStatus*, које може имати следеће вредности: *Proposed*, *Testing*, *Implemented* и *Rejected*. Овим се омогућава праћење животног циклуса процесних корака.



Слика 13 – FODA модел извршења производње и интеракције (*Production Execution Model*)

Обележје *AutomationLevel* дефинише ниво аутоматизације процеса. Процес може бити:

- *Manual* (ручни),
- *SemiAutomated* (полуаутоматизован),
- *FullyAutomated* (потпуно аутоматизован).

Овим обележјем модел се прилагођава различитим индустријским окружењима, од традиционалних система са доминантним људским радом до високо аутоматизованих производних линија.

Обележје *HumanMachineInteraction* моделује начин на који човек остварује интеракцију са техничким системом у оквиру производног процеса.

У оквиру обележја *InteractionMode* разликују се следећи модалитети интеракције: *Voice* (глас), *Gesture* (гест), *Touchscreen* (екран осетљив на додир), *AR_Interface* (интерфејс заснован на проширеној реалности) и *Haptic* (хаптичка интеракција). Систем може подржавати један или више модалитета интеракције.

Додатно, модел омогућава дефинисање обележја *UsabilityMeasured*, *TrustMeasured* и *ErrorRecoveryDefined*, чиме се формализује процена употребљивости система, ниво поверења корисника у систем и способност система да се опорави од грешака. Ова обележја уводе димензију квалитета интеракције између човека и машине.

Овај FODA модел омогућава систематско моделовање оперативних конфигурација производног система кроз комбинацију процесне структуре, нивоа аутоматизације и начина интеракције. Тиме се обезбеђује формална основа за анализу различитих сценарија извршења производње и евалуацију улоге човека у савременим индустријским окружењима.

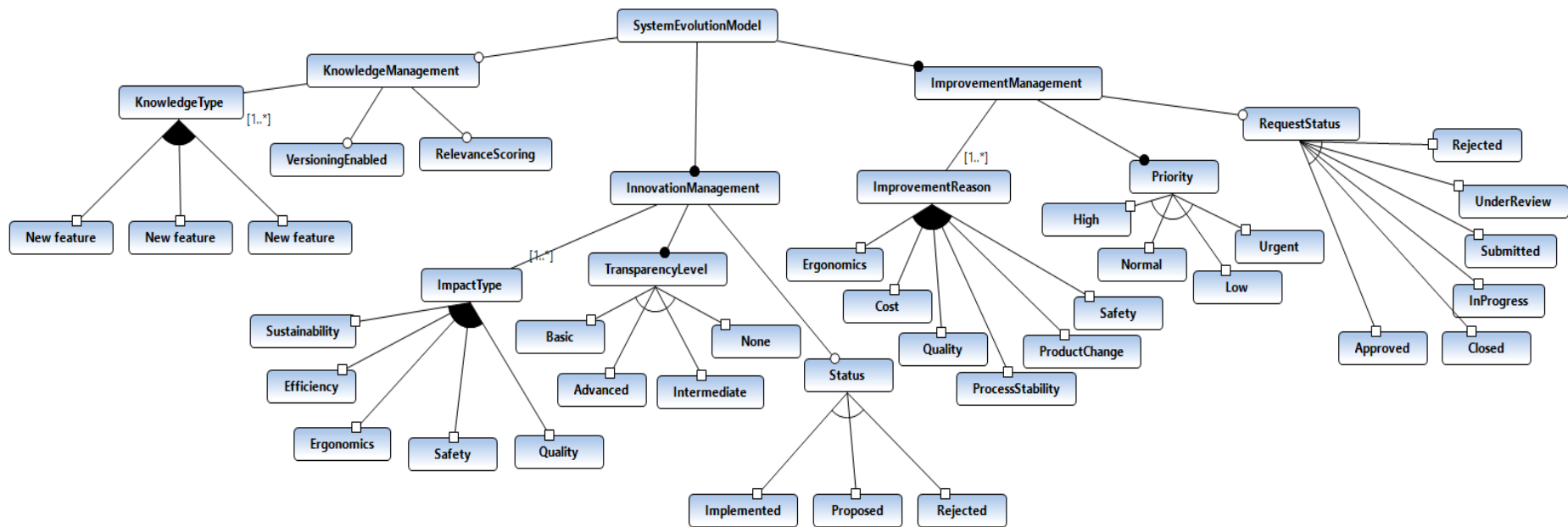
4.2.1.6 FODA модел управљања знањем, иновацијама и унапређењима (*System Evolution Model*)

Обележје *SystemEvolutionModel* (Модел еволуције система) је корен FODA стабла приказаног на Слици 14. Овај модел формализује развојну и еволутивну димензију производног система и представља оквир за разумевање начина на који организација управља знањем, иницира иновације и спроводи континуирана унапређења. За разлику од модела који описују статичну структуру ресурса и организације или извршење процеса, овај модел обухвата механизме промене и прилагођавања система током времена.

Модел се састоји од три основне групе обележја: *KnowledgeManagement*, *InnovationManagement* и *ImprovementManagement*. Свака група обухвата скуп под-обележја која описују типове, статусе и карактеристике знања, иновација и захтева за унапређење.

Обележје *KnowledgeManagement* омогућава моделовање управљања знањем у оквиру организације, односно начина на који се знање евидентира, одржава и користи у производном систему. Управљање знањем је важно јер омогућава пренос искуства, стандардизацију поступака и подршку доношењу одлука.

У оквиру обележја *KnowledgeType* дефинишу се типови знања који постоје у систему. Модел предвиђа могућност постојања једног или више типова знања, при чему типови знања могу обухватати различите облике садржаја или информација које се користе у раду (као што су упутства, смернице, материјали за обуку или знање повезано са новим функционалностима и променама у систему). Тиме се омогућава разликовање различитих категорија знања које су релевантне за извршење рада и управљање системом.



Слика 14 – FODA модел управљања знањем, иновацијама и унапређењима (*System Evolution Model*)

Обележје *VersioningEnabled* дефинише да ли је у систему омогућено верзионисање знања. Верзионисање је значајно јер омогућава праћење промена у садржају (као што су измене процедура, упутстава или докумената), чиме се обезбеђује преглед историје и стабилност у раду. Посебно је важно у индустријским окружењима у којима се процедуре често мењају због технолошких промена или регулаторних захтева.

Обележје *RelevanceScoring* омогућава додељивање оцене релевантности знању. Ова функција омогућава да се различите јединице знања рангирају према значају, актуелности или корисности. Тиме се обезбеђује да кључне информације буду доступније и лакше препознатљиве у систему.

Кроз ова обележја модел приказује управљање знањем као организациони механизам који подржава стабилност рада и пренос експертизе.

Обележје *InnovationManagement* односи се на управљање иновацијама у производном систему. Иновације могу бити технолошке, процесне, организационе или усмерене на унапређење услова рада. Модел омогућава формално представљање иновација кроз њихове карактеристике, очекивани ефекат и статус реализације.

У оквиру обележја *ImpactType* дефинише се тип утицаја иновације. Иновација може имати један или више типова утицаја, као што су: *Sustainability* (одрживост), *Efficiency* (ефикасност), *Ergonomics* (ергономија), *Safety* (безбедност) и *Quality* (квалитет). Овим обележјем омогућава се класификација иновација према циљевима и ефектима које организација жели да постигне. На пример, иновација може истовремено допринети ефикасности и безбедности, или побољшати квалитет уз повећање одрживости.

Обележје *TransparencyLevel* одређује ниво транспарентности иновације и може имати вредности: *None*, *Basic*, *Intermediate* или *Advanced*. Ниво транспарентности описује колико је иновација објашњива и разумљива релевантним актерима (нпр. запосленима, менаџменту, инспекцијским телима), што је посебно значајно у контексту дигиталних решења и аутоматизације. Транспарентност утиче на прихватање иновације, поверење и могућност евалуације ефеката.

Статус иновације моделује се обележјем *Status*, које може бити: *Proposed*, *Implemented* или *Rejected*. Статус омогућава праћење тока иновације од иницијалног предлога, преко евентуалне имплементације, до одбацивања уколико иновација није прихваћена или није изводљива. Тиме се обезбеђује структуриран приказ животног циклуса иновационих иницијатива.

Кроз ова обележја модел омогућава диференцијацију иновација према утицају, степену транспарентности и фази реализације.

Обележје *ImprovementManagement* односи се на формално управљање захтевима за унапређење система. За разлику од иновација које често подразумевају нове идеје и трансформације, унапређења могу бити и мање промене, корекције и оптимизације које се покрећу ради решавања проблема или побољшања перформанси.

У оквиру обележја *ImprovementReason* дефинишу се разлози због којих се покреће захтев за унапређење. Модел предвиђа да захтев може имати један или више разлога, као што су: *Ergonomics*, *Cost*, *Quality*, *ProcessStability*, *ProductChange* и *Safety*. Овим обележјем се омогућава класификација захтева према мотивацији и циљу унапређења. На пример, захтев може бити покренут због безбедности и стабилности процеса, или због смањења трошкова уз унапређење квалитета.

Обележје *Priority* одређује приоритет захтева и може имати вредности: *Low*, *Normal*, *High* или *Urgent*. Приоритет служи за управљање редоследом решавања захтева и алокацијом ресурса, што је посебно важно у индустријским системима где

истовремено постоји већи број захтева и ограничени капацитети за њихову реализацију.

Обележје *RequestStatus* дефинише статус захтева за унапређење и може бити: *Submitted*, *UnderReview*, *Approved*, *InProgress*, *Closed* или *Rejected*. Овим се моделује комплетан животни циклус захтева, од иницијалног подношења, преко разматрања и одобравања, до реализације и затварања или одбацивања. Статус омогућава транспарентно праћење тока захтева и формално управљање процесом континуираног унапређења.

Кроз ова обележја модел приказује унапређење као систематски процес управљања променама, у коме се захтеви категоризују, приоритизују и прате кроз дефинисане фазе.

Овај FODA модел омогућава формално представљање механизма развоја система кроз три кључне области: управљање знањем, управљање иновацијама и управљање унапређењима. На тај начин производни систем се посматра као динамичан ентитет који се континуирано прилагођава променама у технологији, организацији и окружењу, при чему знање представља основу стабилности, иновације представљају извор трансформације, а унапређења механизам систематске оптимизације.

4.3 Резиме резултата анализе домена

Анализа домена представљена у овом поглављу омогућила је свеобухватно разумевање човека као сложеног и вишедимензионалног актера у индустријским системима нове генерације. Идентификацијом улога, задатака, компетенција, ресурса, процеса и механизма развоја који дефинишу положај и функцију запосленог у окружењу Индустрије 4.0 и 5.0 формиран је структуриран и концептуално стабилан темељ за формално моделовање људског фактора и његовог социо-техничког окружења. Ови елементи, сагледани у ширем организационом, технолошком и еволутивном контексту, указали су на потребу да се човек посматра не само кроз призму његових појединачних карактеристика, већ као интегрални део производних, организационих, технолошких и развојних токова.

Развијени FODA модели додатно су оснажили ову анализу пружајући визуелну и формалну структуру идентификованих карактеристика на више међусобно повезаних нивоа. Модел запосленог осветлио је индивидуалне компетенције, професије, статус и обуке, док је модел организационе јединице установио односе ауторитета, професионалне захтеве радних места и формалне организационе токове. Најшира институционална перспектива сагледана је кроз модел организације, који је омогућио разумевање система у коме се све ове интеракције одвијају, укључујући организационе структуре, професионална поља, регулаторне оквире и типологију вештина.

Ови модели даље су проширени моделом конфигурације производног система, којим су организациони елементи, људски ресурси и техничка инфраструктура обједињени у јединствену социо-техничку структуру. На оперативном нивоу, модел извршења производње и интеракције формализовао је процесне токове, нивое аутоматизације и облике интеракције између човека и машине, чиме је приказана конкретна динамика реализације производних активности. Коначно, модел управљања знањем, иновацијама и унапређењима увео је развојну димензију система, омогућавајући формално представљање механизма учења, трансформације и континуиране оптимизације.

Интеграцијом свих шест модела добија се кохерентан и вишеслојан приказ домена који обухвата индивидуални, организациони, структурно-технички,

оперативни и еволутивни ниво индустријског екосистема. Тиме је успостављен целовит теоријски и методолошки оквир који омогућава моделовање човека не само као носиоца компетенција, већ и као активног учесника у технолошким процесима и развојним токовима система. FODA модели јасно приказују варијабилност и међузависност ових елемената, чиме постављају основу за формалну спецификацију конструката и правила у оквиру специјализованог језика за моделовање домена.

Закључно, ово поглавље поставља чврсте темеље за даље истраживање и развој методологије моделовања људског фактора у производним системима. Оно не само да идентификује кључне елементе домена, већ показује њихову међусобну повезаност кроз структурну, процесну и еволутивну перспективу. Тиме се отвара простор за прецизно дефинисање захтева које мора да испуни језик за моделовање човека у организационим и производним системима, што представља фокус наредног поглавља.

4.4 Захтеви које мора да испуни језик за моделовање човека у организацији и производњи

На основу спроведене анализе домена, развијених FODA модела и прегледа релевантне литературе идентификован је скуп захтева које језик за моделовање човека у организацији и производњи мора да испуни како би могао адекватно да подржи анализу, планирање и управљање савременим индустријским системима. Анализа је обухватила различите аспекте функционисања организација, укључујући организационе структуре, управљање људским ресурсима, компетенцијске моделе запослених, регулаторни оквир рада, као и производне процесе и ресурсе који учествују у њиховој реализацији.

Савремени индустријски системи карактеришу висока сложеност организационих структура, интензивна интеракција између људи и технологије, као и сталне промене у технолошком и регулаторном окружењу. У таквим условима неопходно је обезбедити језик за моделовање који омогућава формално и конзистентно описивање различитих аспеката организације и производње. Посебно је важно омогућити моделовање улоге човека у производном систему, његових компетенција, одговорности и интеракција са другим елементима система.

На основу идентификованих концепата домена дефинисан је скуп захтева које језик за моделовање мора да испуни како би омогућио адекватно моделовање организације, запослених и производних система.

Захтев 1 – Подршка моделовању организације

Језик треба да омогући моделовање организације као пословног система у оквиру којег се одвијају организационе и производне активности. Модел организације треба да обезбеди опис основних карактеристика организације и њене структуре, као и дефинисање односа између различитих делова организационог система.

Захтев 2 – Подршка моделовању организационе структуре

Језик треба да омогући моделовање организационе структуре кроз скуп међусобно повезаних организационих јединица. Модел организационе структуре треба да омогући дефинисање различитих нивоа организације и њихових међусобних релација.

Захтев 2.1 – Моделовање различитих типова организационих јединица

Језик треба да омогући дефинисање различитих типова организационих јединица које могу постојати у оквиру организације.

Захтев 2.2 – Моделовање хијерархијских односа

Језик треба да омогући дефинисање односа надређености и подређености између организационих јединица.

Захтев 2.3 – Моделовање локација рада

Језик треба да омогући моделовање физичких локација на којима се одвијају организационе и производне активности.

Захтев 3 – Подршка моделовању радних места

Језик треба да омогући моделовање радних места као позиција у оквиру организације, укључујући дефинисање задатака, одговорности и њихову повезаност са организационим јединицама и оперативним активностима.

Захтев 4 – Подршка моделовању запослених

Језик треба да омогући моделовање запослених као кључних актера организационог система. Модел запосленог треба да омогући евидентирање основних информација о запосленом, његове организационе припадности и улоге у оквиру организације.

Захтев 4.1 – Евидентирање професионалног искуства

Језик треба да омогући евидентирање професионалног искуства запослених и њихове претходне радне активности.

Захтев 4.2 – Повезивање запослених са организационом структуром

Језик треба да омогући повезивање запослених са организационим јединицама и радним местима у оквиру којих обављају своје активности.

Захтев 5 – Подршка моделовању организационих функција

Језик треба да омогући моделовање организационих функција и улога запослених у оквиру организације. Модел треба да омогући дефинисање различитих функционалних и руководећих позиција, као и њихов однос према запосленима и организационим јединицама.

Захтев 6 – Подршка моделовању компетенција запослених

Језик треба да омогући моделовање компетенција запослених које су релевантне за извршавање пословних активности. Модел треба да омогући евидентирање различитих врста вештина и знања запослених, као и њихову повезаност са радним местима и организационим улогама.

Захтев 6.1 – Моделовање професионалних вештина

Језик треба да омогући моделовање стручних и професионалних вештина запослених.

Захтев 6.2 – Моделовање компетенција везаних за радно место

Језик треба да омогући повезивање компетенција са конкретним радним местима.

Захтев 6.3 – Моделовање професионалних занимања

Језик треба да омогући опис професионалних профила запослених и њихове стручне области.

Захтев 7 – Подршка моделовању формалних квалификација

Језик треба да омогући моделовање формалних квалификација запослених које потврђују њихову стручност и способност за обављање одређених послова.

Захтев 7.1 – Евидентирање образовања

Језик треба да омогући евидентирање формалног образовања запослених.

Захтев 7.2 – Евидентирање сертификата

Језик треба да омогући евидентирање професионалних сертификата.

Захтев 7.3 – Евидентирање лиценци

Језик треба да омогући евидентирање професионалних лиценци које су потребне за обављање одређених послова.

Захтев 8 – Подршка моделовању уговорних односа

Језик треба да омогући моделовање формалних односа између запослених и организације. Модел треба да омогући дефинисање различитих облика радних односа и правила која регулишу рад запослених.

Захтев 9 – Подршка моделовању правног и регулаторног оквира

Језик треба да омогући моделовање правних аката и ограничења која утичу на организацију рада и производње, као и њихове међусобне односе. Модел треба да омогући евидентирање правних ограничења и правила која произлазе из регулаторног окружења.

Захтев 10 – Подршка моделовању производних процеса

Језик треба да омогући моделовање производних процеса који се састоје од низа међусобно повезаних активности. Модел треба да омогући дефинисање структуре процеса и релација између појединачних активности.

Захтев 11 – Подршка моделовању производних ресурса

Језик треба да омогући моделовање ресурса који учествују у реализацији производних процеса. Модел треба да омогући опис различитих типова ресурса који могу учествовати у производним активностима, укључујући људске и технолошке ресурсе.

Захтев 12 – Подршка моделовању оперативних активности и ограничења

Језик треба да омогући моделовање оперативних активности, њихових ограничења, параметара и услова извршавања, укључујући временске интервале и повезаност са правним актима.

Захтев 13 – Подршка моделовању безбедности и здравља на раду

Језик треба да омогући моделовање правила и процедура које се односе на безбедност и здравље на раду. Модел треба да омогући евидентирање безбедносних захтева и обука запослених које су потребне за безбедно обављање послова.

Захтев 14 – Подршка моделовању интеракције између људи и технологије

Језик треба да омогући моделовање интеракција између запослених и технолошких система у оквиру производног окружења. Модел треба да омогући опис различитих облика сарадње између људи и технолошких ресурса.

Захтев 15 – Подршка моделовању профила и усклађености система

Језик треба да омогући моделовање етичке усклађености, одрживости и адаптабилности система кроз одговарајуће профиле.

Захтев 16 – Подршка моделовању знања и квалификација ресурса

Језик треба да омогући моделовање ресурса знања и квалификација, укључујући њихову примену у процесима и повезаност са ресурсима.

Захтев 17 – Подршка моделовању иницијатива за унапређење и иновације

Језик треба да омогући моделовање иницијатива за побољшање и иновационог доприноса у организационом и производном систему, укључујући формализацију предлога, њихово праћење и процену утицаја на систем.

Дефинисани захтеви представљају основу за дизајн језика за моделовање човека у организацији и производњи. Они обухватају кључне аспекте организационих структура, управљања људским ресурсима, компетенцијског развоја запослених, регулаторног окружења и производних система.

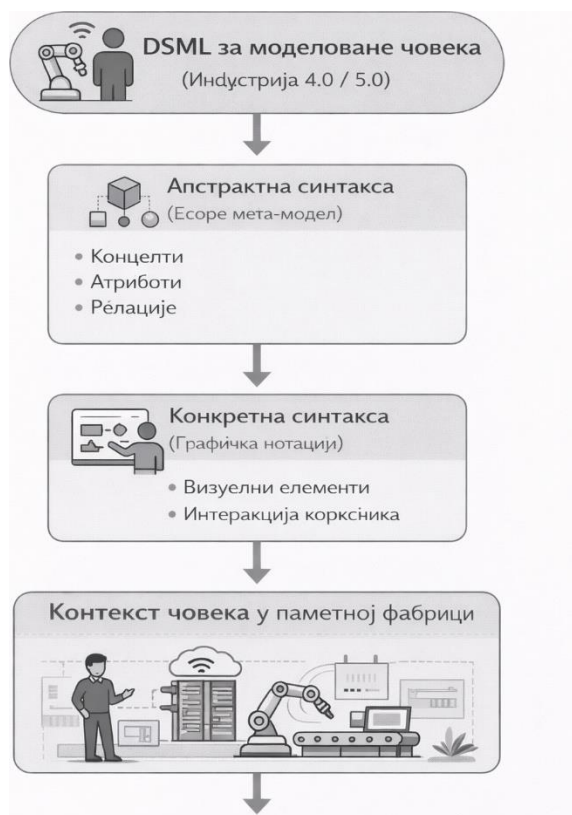
На основу ових захтева развијен је језик *HResModLan*, чији метамодел и конкретна синтакса омогућавају формално и конзистентно моделовање организационих и производних система у савременом индустријском окружењу.

У наредним поглављима биће приказано како предложени језик кроз свој метамодел и графичку конкретну синтаксу омогућава реализацију дефинисаних захтева.

5 Предлог модела DSML-а за моделовање човека у Индустији 4.0 и Индустији 5.0

У овом поглављу представљен је предлог доменски специфичног језика за моделовање намењен формалном моделовању човека у контексту Индустије 4.0 и Индустије 5.0. Предложени језик развијен је као резултат спроведеног истраживања, заснованог на анализи домена и идентификацији кључних концепата релевантних за описивање улоге човека у савременим, дигитализованим и производним системима усмереним на човека.

У оквиру парадигме Индустије 4.0 нагласак је стављен на дигитализацију, интероперабилност и интеграцију кибернетичко-физичких система, док Индустија 5.0 додатно уводи принципе усмерене на човека, одрживости и отпорности система. У том контексту, моделовање човека захтева формални приступ који превазилази имплицитно или парцијално представљање људског фактора у производним моделима. Предложени DSML омогућава експлицитну спецификацију улога, активности, компетенција и интеракција човека са техничким и информационом компонентама система, чиме се успоставља јединствена и формално дефинисана структура за анализу и даљу обраду модела.



Слика 15 – Архитектура језика заснована је на принципима MD инжењерства

Архитектура језика заснована је на принципима MD инжењерства и обухвата две основне компоненте: апстрактну и конкретну синтаксу. Као што је приказано на Сlici 15, апстрактна синтакса представља формалну основу језика и дефинише његов мета-модел, односно скуп концепата, њихових атрибута, релација и кардиналности. Овакав приступ омогућава прецизно и једнозначно дефинисање структуре модела, независно од начина њихове визуелне репрезентације. Додатна семантичка

ограничења, која произлазе из специфичности домена и не могу бити у потпуности изражена структурним правилима метамодела, дефинисана су применом језика за спецификацију ограничења (енгл. *Object Constraint Language*, OCL), чиме се обезбеђује конзистентност и валидација инстанци модела.

На основу дефинисане апстрактне синтаксе развијена је конкретна (графичка) синтакса језика, чији је циљ да обезбеди прегледну и интуитивну репрезентацију елемената мета-модела. Конкретна синтакса пресликава формално дефинисане концепте у визуелне елементе и релације, уз очување њихове семантичке доследности. Оваква подела омогућава јасно раздвајање семантичког и нотационог аспекта језика, што представља основни принцип у развоју доменски специфичних језика.

Предложени DSML не тежи моделовању комплетног производног система, већ је фокусиран на формално моделовање човека као активног ентитета унутар паметне фабрике. Тиме се омогућава систематична анализа његове улоге, интеракција и компетенција у оквиру кибернетичко-физичког окружења, уз потенцијал за интеграцију са другим моделима производног система.

У наставку поглавља најпре се детаљно разматра апстрактна синтакса језика, кроз опис мета-модела и његових кључних елемената. Након тога приказује се конкретна синтакса и принципи графичке репрезентације модела. Оваква структура омогућава методолошки доследан прелаз од формалне дефиниције језика ка његовој практичној примени у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0.

5.1 Апстрактна синтакса језика

Апстрактна синтакса предложеног доменски специфичног језика представља формалну и концептуалну основу за моделовање човека у оквиру паметних и производних система усмерених на човека. У складу са принципима MD инжењерства, апстрактна синтакса дефинисана је у облику мета-модела, којим се једнозначно спецификују концепти домена, њихове међусобне релације, кардиналности, хијерархијске зависности и ограничења.

Полазећи од резултата анализе домена и теоријских поставки савремених производних система, идентификовано је да се улога човека у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0 може систематично посматрати из две комплементарне, али концептуално раздвојиве перспективе. Прва перспектива односи се на човека као ентитет унутар организационе структуре система, док друга перспектива обухвата човека као активног учесника у реализацији производног процеса. Оваква дистинкција омогућава јасно раздвајање структурних (организационих) аспеката од оперативних (процесних) аспеката моделовања, чиме се обезбеђује концептуална кохерентност мета-модела и његова модуларна проширивост.

У складу са наведеним, структура овог поглавља организована је у две основне целине.

Прва целина посвећена је моделовању човека као учесника у организацији. Овај део апстрактне синтаксе обухвата формализацију организационог контекста у коме се човек појављује, укључујући дефинисање организационих јединица, улога и позиција, као и компетенција и квалификација које су повезане са одређеним радним местима. Наведени концепти структурирани су кроз три међусобно повезана подмодела, који заједно чине интегрални организациони модел. Иако су концептуално раздвојени ради прегледности и аналитичке јасноће, ови подмодели су семантички повезани и чине јединствену целину унутар мета-модела.

Друга целина односи се на моделовање човека као учесника у процесу производње. Овај део мета-модела усмерен је на формално описивање активности, задатака и интеракција човека унутар производног система, као и на релације са

другим ентитетима процеса. Тиме се омогућава експлицитно моделовање учешћа човека у динамичким аспектима система, укључујући његову улогу у реализацији производних операција и интеракцију са техничким и информационим компонентама. Детаљна разрада овог дела мета-модела биће представљена у наставку рада.

Оваква организација апстрактне синтаксе омогућава систематично и хијерархијски структурисано представљање концепата језика, уз очување њихове међусобне семантичке повезаности. Истовремено, овакав приступ обезбеђује основу за даљу разраду конкретне синтаксе и потенцијалне трансформације модела, чиме се потврђује методолошка доследност и формална утемељеност предложеног DSML-а.

5.1.1 Моделовање човека као учесника у организацији

Посматрање човека из организационе перспективе подразумева његово сагледавање као ентитета који је структурно, нормативно и компетенцијски интегрисан у организациони систем. У контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, организација више не представља искључиво административни оквир, већ динамичан социо-технички систем у коме су формална структура, правни односи и индивидуалне компетенције међусобно повезани и дигитално репрезентовани. Из тог разлога, апстрактна синтакса предложеног DSML-а организациону димензију моделовања човека структурира кроз три међусобно комплементарна мета-модела.

Први мета-модел односи се на формализацију организационе структуре. Њиме се дефинишу ентитети као што су организација, организационе јединице, радна места, хијерархијски односи и ауторитети, чиме се обезбеђује структурни оквир унутар којег човек делује. Овај део мета-модела усмерен је на репрезентацију статичке и хијерархијске димензије организације, укључујући релације надређености, припадности и функционалне повезаности.

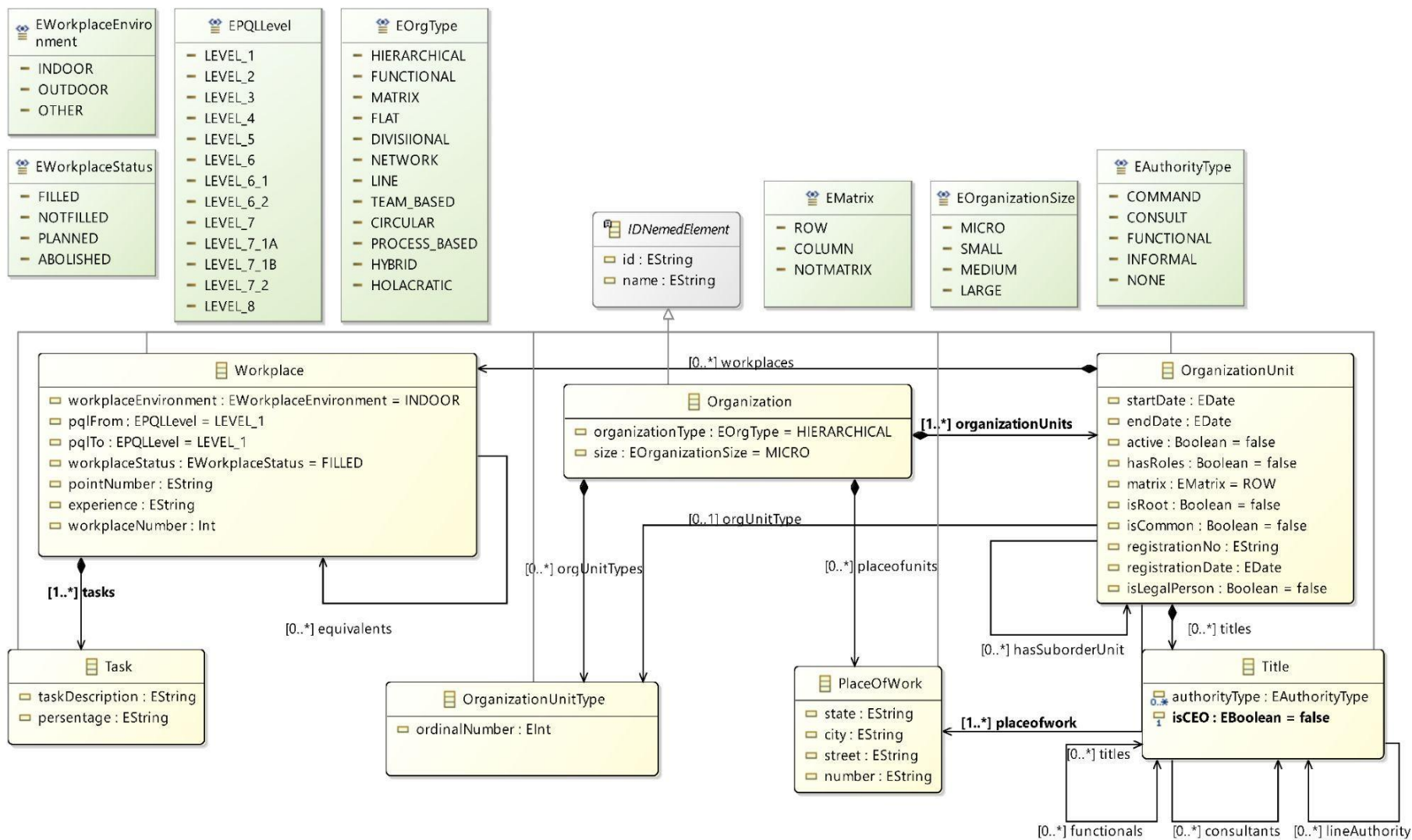
Други мета-модел обухвата радно-правни и нормативни оквир. Овим делом формализују се уговорни односи, правни акти и нормативне основе које дефинишу статус запосленог унутар организације. Тиме се омогућава експлицитно моделовање правног положаја човека, његовог радног ангажмана и односа према организационој структури. Овај мета-модел представља формални мост између организационог система и индивидуалног ентитета запосленог.

Трећи мета-модел усмерен је на формализацију професионалног и компетенцијског профила запосленог. Њиме се моделују квалификације, дипломе, лиценце, сертификати, професионално искуство и различите категорије знања и вештина. Ова компонента омогућава репрезентацију индивидуалних капацитета запосленог, који представљају кључни елемент приступа усмереног на човека карактеристичног за Индустрију 5.0.

Иако су ради аналитичке јасноће представљени као засебне целине, наведени мета-моделу су међусобно повезани и заједно чине интегрални организациони модел унутар апстрактне синтаксе језика. Њихова интеграција омогућава формално, систематично и једнозначно моделовање човека као организационог ентитета, чиме се успоставља чврста основа за даље разматрање његове улоге у производном процесу.

5.1.1.1 Мета-модел организационе структуре

Мета-модел организационе структуре представља структурну компоненту организационе перспективе апстрактне синтаксе предложеног DSML-а. Његова сврха јесте формална репрезентација организације као система хијерархијски и функционално повезаних ентитета, унутар којег се дефинише положај човека, радних



Слика 16 – Мета-модел организационе структуре

места и организационих јединица. На Слици 16 приказан је одговарајући модел. На мета-моделском (M2) нивоу, овај подмодел омогућава једнозначно дефинисање организационог контекста у којем се касније позиционирају правни и компетенцијски аспекти запосленог.

Централни концепт овог подмодела јесте класа *Organization*, која представља агрегациони корен организационог система. Организација је дефинисана следећим атрибутима:

- *organizationType : EOrgType* – тип организационе структуре.
- *size : EOrganizationSize* – величина организације.

Енумерација *EOrgType* омогућава формалну класификацију организационих структура и може имати следеће вредности:

- *HIERARCHICAL* – организација је структурисана кроз јасно дефинисане нивое надређености;
- *FUNCTIONAL* – организација је организована према функционалним областима;
- *MATRIX* – комбинација функционалне и хијерархијске структуре;
- *FLAT* – организација са минималним бројем хијерархијских нивоа;
- *DIVISIONAL* – организација подељена на аутономне јединице;
- *NETWORK* – мрежна организациона структура;
- *LINE* – линеарна структура командовања;
- *TEAM_BASED* – организација заснована на тимовима;
- *CIRCULAR* – кружна дистрибуција ауторитета;
- *PROCESS_BASED* – организација структурисана према процесима;
- *HYBRID* – комбинација више модела;
- *HOLOCRATIC* – децентрализована, самоуправљајућа структура.

Енумерација *EOrganizationSize* моделује величину организације:

- *MICRO* – микро организација;
- *SMALL* – мала организација;
- *MEDIUM* – средња организација;
- *LARGE* – велика организација.

Класа *Organization* је повезана релацијом композиције са класом *OrganizationUnit*, чиме се формализује чињеница да организационе јединице егзистирају искључиво унутар контекста конкретне организације. Кардиналност [1..*] на страни *OrganizationUnit* имплицира да свака организација мора садржати најмање једну организациону јединицу.

Класа *OrganizationUnit* представља основну структурну компоненту организације. Њени атрибути (*startDate*, *endDate*, *active*, *matrix*, *isRoot*, *isCommon*, *registrationNo*, *registrationDate*, *isLegalPerson*) омогућавају моделовање временске валидности, статуса и правног положаја јединице.

Хијерархијска релација *hasSuborderUnit* представља самореференцијалну асоцијацију (*self-association*), којом се омогућава формирање вишеслојне организационе структуре. Тиме је омогућено моделовање произвољне дубине хијерархије, што обезбеђује флексибилност и скалабилност мета-модела.

Енумерација *EMatrix* додатно прецизира структурни тип јединице:

- *ROW* – функционална оријентација по редовима;
- *COLUMN* – функционална оријентација по колонама;

- *NOTMATRIX* – јединица није део матричне структуре.

Класа *Workplace* моделује формализовано радно место унутар организације. Радно место је повезано са организационом јединицом релацијом која омогућава једнозначно позиционирање сваке позиције унутар хијерархије.

Атрибути радног места укључују:

- *workplaceEnvironment* : *EWorkplaceEnvironment* – тип радног окружења.
- *pqlFrom* и *pqlTo* : *EPQLevel* – опсег потребног квалификационог нивоа.
- *workplaceStatus* : *EWorkplaceStatus* – статус радног места.

Енумерација *EWorkplaceEnvironment* дефинише физички контекст рада:

- *INDOOR* – рад у затвореном простору;
- *OUTDOOR* – рад на отвореном;
- *OTHER* – специфично или комбиновано окружење.

Енумерација *EWorkplaceStatus* омогућава праћење статуса радног места:

- *FILLED* – радно место је попуњено;
- *NOTFILLED* – радно место је упражњено;
- *PLANNED* – радно место је планирано;
- *ABOLISHED* – радно место је укинато.

Енумерација *EPQLevel* омогућава моделовање распона квалификационог нивоа потребног за обављање послова на конкретном радном месту, чиме се уводи формална веза између структурног и компетенцијског модела.

Класа *Title* моделује формалну организациону титулу и повезана је са организационом јединицом. Атрибут *authorityType* : *EAuthorityType* дефинише врсту ауторитета који је повезан са титулом.

Енумерација *EAuthorityType* обухвата:

- *COMMAND* – командни ауторитет;
- *CONSULT* – саветодавна функција;
- *FUNCTIONAL* – функционална надлежност;
- *INFORMAL* – неформални утицај;
- *NONE* – без формалног ауторитета.

Атрибут *isCEO* : *EBoolean* омогућава експлицитно означавање највишег извршног нивоа организације.

Класа *PlaceOfWork* омогућава моделовање географске локације организационе јединице. Релација између *OrganizationUnit* и *PlaceOfWork* уводи просторну димензију у организациони модел, чиме се омогућава моделовање вишелокацијских организација.

Класа *Task* повезана је са класом *Workplace* релацијом композиције, чиме се формализује чињеница да задаци представљају функционалне елементе радног места. Атрибут *percentage* омогућава моделовање релативног учешћа појединачног задатка у укупном опису радног места.

1. Мета-модел организационе структуре тиме успоставља:
2. хијерархијску димензију организације,
3. функционалну дистрибуцију ауторитета,
4. просторну локализацију ентитета,
5. формализовану репрезентацију радних места и њихових захтева.

Овај подмодел представља структурну основу организационе перспективе и омогућава једнозначно позиционирање запосленог унутар система. Његова формална прецизност обезбеђује стабилан темељ за интеграцију са нормативним и компетенцијским подмоделима, чиме се постиже конзистентност целокупне апстрактне синтаксе.

5.1.1.2 Мета-модел радно-правног и нормативног оквира

Мета-модел радно-правних и нормативних релација представља регулаторну димензију организационе перспективе апстрактне синтаксе предложеног DSML-а. Док претходни подмодел формализује структурни оквир организације, овај подмодел усмерен је на нормативно дефинисање положаја запосленог унутар тог оквира, кроз експлицитно моделовање правних аката, уговорних односа и нормативних одредби које уређују радни статус. На Слици 17 приказан је одговарајући модел. На М2 нивоу мета-моделске хијерархије, овај подмодел омогућава формалну репрезентацију правног система који уређује однос између запосленог и организације, чиме се обезбеђује потпуност дигиталне репрезентације организационог контекста.

Централни ентитет овог подмодела јесте класа *LegalAct*, која моделује формални правни документ којим се уређују односи унутар организације. Ова класа обухвата следеће кључне атрибуте:

- *legalActType* : *ELegalActType* – тип правног акта којим се уређује нормативни однос.
- *entryDate* : *EString* – датум ступања акта на снагу.
- *status* : *EStatus* – статус важења правног акта.

Енумерација *ELegalActType* омогућава класификацију правних аката и може имати следеће вредности:

- *LAW* – закон као општи правни акт;
- *BYLAW* – подзаконски акт;
- *COMPANY_BYLAW* – интерни акт организације;
- *OTHER* – други нормативни документ.

Енумерација *EStatus* омогућава моделовање важења правног акта:

- *ACTIVE* – акт је на снази;
- *INACTIVE* – акт није важећи.

Класа *LegalAct* може бити повезана са другим правним актима релацијом *derogates*, чиме се омогућава моделовање хијерархије и сукцесије нормативних докумената. Тиме се уводи временска и нормативна димензија правног система, омогућавајући формално праћење промена и престанка важења аката.

Класа *EmploymentContract* моделује формални радни однос између запосленог и организације. Она представља конкретизацију правног акта у индивидуалном контексту запосленог.

Кључни атрибути ове класе укључују:

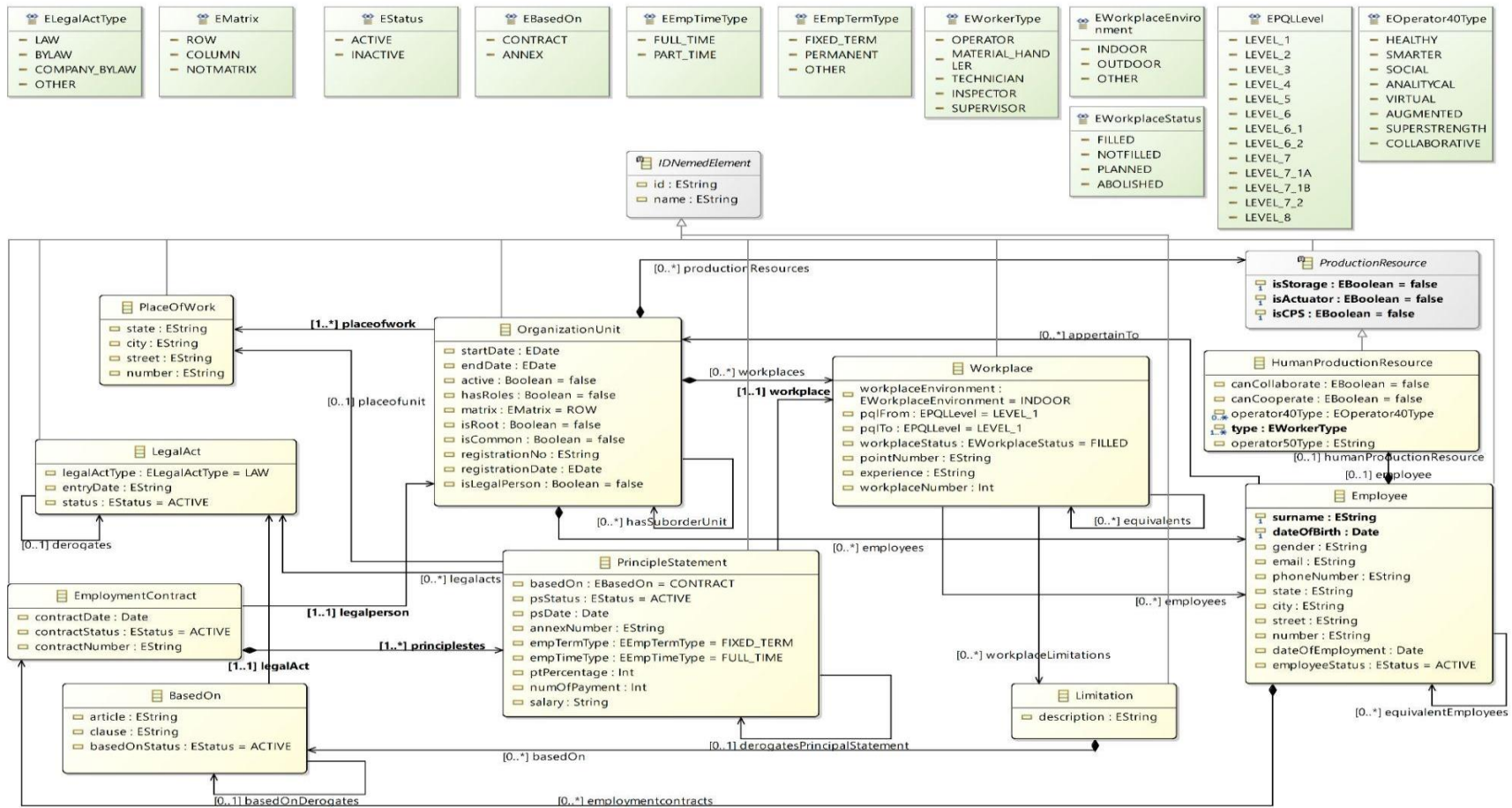
- *contractDate* : *Date* – датум закључења уговора.
- *contractStatus* : *EStatus* – статус важења уговора.
- *contractNumber* : *EString* – јединствени идентификациони број уговора.

Релација композиције између класе *EmploymentContract* и класе *LegalAct* означава да сваки уговор мора бити заснован на конкретном правном акту. Кардиналност [1..1] на страни *LegalAct* обезбеђује једнозначност правне основе уговора.

Релација између *EmploymentContract* и класе *Employee* (дефинисана у претходном подмоделу) успоставља формалну везу између правног документа и конкретног запосленог, чиме се омогућава индивидуализација правног статуса.

Класа *PrincipleStatement* омогућава грануларну репрезентацију појединачних нормативних одредби, укључујући анексе, додатке и посебне клаузуле. Ова класа садржи атрибуте као што су:

- *basedOn* : *EBasedOn* – основ нормативне одредбе (уговор или анекс).
- *psStatus* : *EStatus* – статус важења нормативне одредбе.



Слика 17 – Мета-модел радно-правног и нормативног оквира

- *psDate* : *Date* – датум доношења одредбе.
- *annexNumber* : *EString* – идентификациона ознака анекса.
- *empTermType* : *EEmpTermType* – тип трајања радног односа.
- *empTimeType* : *EEmpTimeType* – тип радног времена.
- *ptPercentage* : *Int* – проценат радног ангажовања.
- *numOfPayment* : *Int* – број исплата у дефинисаном периоду.
- *salary* : *String* – износ уговорене накнаде.

Енумерација *EBasedOn* дефинише нормативни основ документа:

- *CONTRACT* – засновано на уговору;
- *ANNEX* – засновано на анексу.

Енумерација *EEmpTermType* прецизира трајање радног односа:

- *FIXED_TERM* – рад на одређено време;
- *PERMANENT* – рад на неодређено време;
- *OTHER* – други тип ангажовања.

Енумерација *EEmpTimeType* дефинише временски ангажман запосленог:

- *FULL_TIME* – пуно радно време;
- *PART_TIME* – непуно радно време.

Релација између класе *PrincipleStatement* и *EmploymentContract* омогућава моделовање више нормативних одредби у оквиру једног уговора, док релација *derogatesPrincipalStatement* омогућава репрезентацију замене или измене постојећих одредби.

Класа *BasedOn* моделује правни основ појединачне одредбе. Атрибути *article*, *clause* и *basedOnStatus* омогућавају прецизно референцирање члана и клаузуле правног акта.

Релације између *BasedOn*, *LegalAct* и *PrincipleStatement* формирају нормативну мрежу, која омогућава праћење извора и хијерархије правних одредби. Оваква структура омогућава формално моделовање нормативне конзистентности и потенцијалних конфликта између аката.

Мета-модел радно-правних и нормативних релација уводи регулаторну и временску димензију у организациону перспективу моделовања човека. Његове кључне функције су:

1. формализација правног положаја запосленог,
2. моделовање хијерархије нормативних докумената,
3. омогућавање праћења важења и дерогације аката,
4. прецизно дефинисање услова рада и типа ангажовања.

Овај подмодел допуњује структурну организациону димензију тиме што уводи правни оквир унутар којег организација функционише. Тиме се постиже потпуна дигитална репрезентација организационог контекста, у коме су структура, правни статус и нормативна правила међусобно повезани и формално дефинисани.

5.1.1.3 Мета-модел запосленог и његових компетенција

Мета-модел професионалног и компетенцијског профила запосленог представља индивидуалну димензију организационе перспективе апстрактне синтаксе. Док први подмодел формализује структурни оквир организације, а други нормативни оквир радног односа, овај подмодел моделује запосленог као носиоца знања, вештина, квалификација и професионалног искуства. Тиме се успоставља формална репрезентација људског капитала организације. На Слици 18 приказан је одговарајући модел. На мета-моделском (M2) нивоу, овај подмодел омогућава једнозначно дефинисање образовног, стручног и компетенцијског идентитета

запосленог, уз прецизно моделовање његових релација са радним местима и организационим јединицама.

Централна класа овог подмодела јесте *Employee*, која представља индивидуалног актера унутар организације. Класа садржи идентификационе и демографске атрибуте (име, презиме, датум рођења, контакт подаци), као и атрибут *employeeStatus : EStatus*, којим се дефинише тренутни статус запосленог (*ACTIVE* или *INACTIVE*).

Релације између класе *Employee* и других ентитета омогућавају моделовање његовог професионалног развоја, квалификација и ангажовања кроз време.

Класа *Profession* моделује професионалну област запосленог. Атрибут *field : EField* омогућава класификацију професије према научној или стручној области (као што су техничке, друштвене, медицинске науке).

Класа *Diploma* формализује стечено образовање запосленог. Атрибути као што су:

- *issuedDate* – датум издавања дипломе,
- *institution* – назив образовне институције,
- *pql : EPQLevel* – ниво стечене квалификације,
- *avgGrade* – просечна оцена током студија,

омогућавају прецизну репрезентацију академских квалификација. Релација између *Employee* и *Diploma* са кардиналношћу [0..*] омогућава моделовање више стечених диплома током професионалне каријере.

Енумерација *EPQLevel* дефинише квалификациони ниво стеченог образовања, чиме се успоставља формална веза између образовања запосленог и захтева радног места (дефинисаних у првом подмоделу).

Класа *License* моделује формална професионална овлашћења. Атрибути као што су *issuedDate*, *expDate*, *institution* и *licenseNo* омогућавају праћење валидности и извора лиценце.

Класа *Certificate* представља додатне стручне потврде и обуке, са атрибутима *courseTitle*, *startDate*, *endDate* и *institution*. Релација између *Employee* и *Certificate* омогућава репрезентацију континуираног професионалног усавршавања.

Класа *LicenseType* додатно прецизира категорију лиценце, чиме се омогућава типизација професионалних дозвола.

Компетенцијски аспект запосленог моделован је кроз класе *WorkplaceSkill* и *SoftSkill*.

Класа *WorkplaceSkill* садржи атрибуте:

- *level* – ниво развијености вештине,
- *skillType : ESkillType* – категорија или тип вештине,
- *skillDescription* – опис садржаја вештине.

Енумерација *ESkillType* омогућава класификацију вештина, укључујући:

- *TECHNICAL* – техничке компетенције;
- *COGNITIVE* – когнитивне способности;
- *METHODOLOGICAL* – методолошке вештине;
- *SOCIAL* – социјалне компетенције;
- *PERSONAL* – личне особине;
- *ETHICAL* – етичке вредности;
- *HEALTH* – компетенције везане за безбедност;
- *SOFT* – опште меке вештине;
- *OTHER* – остале категорије.

Класа *SoftSkill* омогућава додатно издвајање и моделовање општих интерперсоналних и личних компетенција.

Релације између *Employee*, *WorkplaceSkill* и *SoftSkill* омогућавају вишеструко повезивање запосленог са различитим типовима вештина, чиме се обезбеђује флексибилна и скалабилна репрезентација компетенцијског профила.

Класа *Experience* моделује професионалну историју запосленог. Атрибути као што су *company*, *position*, *startYear* и *endYear* омогућавају репрезентацију претходних ангажовања и трајања радног искуства.

Овај ентитет уводи временску димензију у компетенцијски модел и омогућава анализу континуитета професионалног развоја.

Мета-модел професионалног и компетенцијског профила запосленог омогућава:

1. формалну репрезентацију образовних и стручних квалификација,
2. моделовање професионалних лиценци и сертификата,
3. класификацију и типизацију вештина,
4. праћење професионалног искуства кроз време.

Овај подмодел представља индивидуалну компоненту организационог модела и успоставља везу између захтева радног места и компетенцијског капацитета запосленог. Тиме се обезбеђује семантичка основа за будуће моделовање човека као активног учесника у производном процесу, где ће његове компетенције бити директно повезане са извршавањем конкретних задатака.

5.1.2 Моделовање човека као учесника у процесу производње

Док претходно поглавље разматра човека из организационе перспективе, као структурно, нормативно и компетенцијски интегрисаног члана организационог система, у овом поглављу фокус се помера на његову улогу унутар производног окружења. У савременим индустријским парадигмама, нарочито у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, производни систем не представља искључиво технолошку инфраструктуру, већ интегрисани социо-технички екосистем у коме су људски, машински и дигитални ресурси међусобно повезани.

Човек у том систему није само извршилац задатака, већ когнитивни, адаптивни и евалуативни актер, способан за сарадњу са интелигентним системима, доношење одлука, као и иницирање унапређења. Из тог разлога, апстрактна синтакса предложеног DSML-а уводи посебну производну перспективу моделовања човека, која је комплементарна организационој димензији и надовезује се на њу.

За разлику од организационог модела, који је доминантно структурно-нормативне природе, производна перспектива је оперативна, процесно оријентисана и евалуативна. У складу са тим, моделовање човека као учесника у производном процесу структурирано је кроз три међусобно повезана мета-модела.

Први мета-модел односи се на формализацију структурне архитектуре производног система. Њиме се дефинишу ентитети као што су производни ресурси, њихова типизација и процесна структура, укључујући производне процесе и њихове кораке. Овим делом обезбеђује се онтолошки и структурни оквир унутар којег човек делује као специфична категорија производног ресурса, равноправна са машинама и роботским системима. Овај мета-модел усмерен је на репрезентацију статичке и архитектонске димензије производног система, чиме се успоставља формална основа за даље моделовање ангажовања и интеракције.

Други мета-модел обухвата оперативну способност и услове ангажовања радника. Овим делом формализују се његове способности, параметри извршења, ограничења, квалификације и знање као подршка раду. Тиме се омогућава

експлицитно моделовање оперативне спремности радника и прецизно дефинисање услова под којима он може бити додељен одређеном процесном кораку. Овај мета-модел представља функционални мост између структурне архитектуре система и конкретне реализације производних активности.

Трећи мета-модел усмерен је на формализацију процесног учешћа и евалуације рада усмерене на човека. Њиме се моделује ангажовање радника у конкретним корацима процеса, његова интеракција са машинама и дигиталним интерфејсима, као и етички, одрживи и адаптивни аспекти рада. Поред тога, овај део омогућава репрезентацију иновационог доприноса и иницирања унапређења система. Ова компонента уводи динамичку и евалуациону димензију модела, карактеристичну за приступ усмерен на човека Индустије 5.0.

Ова три мета-модела заједно омогућавају формално, систематично и једнозначно моделовање човека као активног производног ресурса, његове спремности за ангажовање, као и квалитета и ефеката његовог учешћа у процесу.

5.1.2.1 Мета-модел формализације структурне архитектуре производног система

Мета-модел структурне архитектуре производног система представља структурну и онтолошку компоненту производне перспективе апстрактне синтаксе предложеног DSML-а. Док организациони подмодел формализује положај човека унутар институционалног оквира, овај подмодел моделује производни систем као скуп међусобно повезаних ресурса и процеса у оквиру којих човек остварује своју оперативну улогу. Тиме се успоставља формална репрезентација производног окружења као интегрисаног социо-техничког система. На Слици 19 приказан је одговарајући модел. На мета-моделском (M2) нивоу, овај подмодел омогућава једнозначно дефинисање типова производних ресурса, њихове класификације и њиховог позиционирања у оквиру процеса, чиме се обезбеђује структурна основа за даље моделовање оперативних и евалуационих аспеката рада.

Централна класа овог подмодела јесте *ProductionResource*, која представља апстрактни тип свих ресурса ангажованих у производном систему. Класа садржи следеће атрибуте:

- *isStorage* : *EBoolean* – означава да ли ресурс поседује функцију складиштења. Вредност *true* имплицира да ресурс може привремено или трајно чувати материјал, информације или друге елементе процеса, док вредност *false* означава да ресурс нема такву функцију.
- *isActuator* : *EBoolean* – означава да ли ресурс има извршну или актуаторску функцију у систему. Вредност *true* значи да ресурс може непосредно деловати на физичко окружење или процес (нпр. извршавање операције), док *false* означава да ресурс нема директну извршну функцију.
- *isCPS* : *EBoolean* – означава да ли ресурс представља сајбер-физички систем (*Cyber-Physical System*). Вредност *true* имплицира интеграцију дигиталне и физичке компоненте кроз комуникационе и управљачке механизме, док *false* означава класичан, неинтегрисани ресурс.

Класа *ProductionResource* представља заједничку апстракцију из које се изводе конкретне категорије ресурса, чиме се омогућава униформно моделовање људских и техничких ентитета.

Специјализације класе *ProductionResource* обухватају:

Класа *HumanProductionResource* моделује човека као оперативни производни ресурс. Ова класа уводи производну димензију моделовања запосленог, разликујући његов организациони идентитет од његове функционалне улоге у процесу.

Кључни атрибути укључују:

- *canCollaborate* : *EBoolean* – означава способност радника за колаборативни рад, односно рад у коме се задаци деле и реализују у координацији са другим људским или техничким ресурсима.
- *canCooperate* : *EBoolean* – означава способност радника за кооперативни рад, при чему ресурси раде паралелно или секвенцијално на истом циљу без нужно интензивне међузависности.
- *operator40Type* : *EOperator40Type* – класификација радника према концепту Индустрије 4.0, чиме се дефинише његов дигитални и технолошки профил.
- *type* : *EWorkerType* – означава функционалну улогу радника у систему (*operator, technician, inspector, supervisor*), чиме се прецизира његова оперативна одговорност.
- *operator50Type* : *EString* – описна ознака проширеног типа оператера у контексту Индустрије 5.0, која омогућава додатну семантичку диференцијацију улоге радника.

Енумерација *EOperator40Type* омогућава типизацију оператера и може имати следеће вредности:

- *HEALTHY* – радник чија је улога примарно повезана са безбедношћу и очувањем здравља у радном окружењу;
- *SMARTER* – радник који користи дигиталне алате и аналитичке системе за унапређење перформанси;
- *SOCIAL* – радник чији је допринос доминантно заснован на комуникацији и тимској интеракцији;
- *ANALYTICAL* – радник који користи податке и аналитичке методе у доношењу одлука;
- *VIRTUAL* – радник који функционише у дигиталном или виртуелном окружењу;
- *AUGMENTED* – радник чије су способности проширене употребом асистивних технологија;
- *SUPERSTRENGTH* – радник који користи механичку или технолошку подршку за повећање физичких способности;
- *COLLABORATIVE* – радник који је посебно оспособљен за рад са колаборативним роботима и интелигентним системима.

Енумерација *EWorkerType* прецизира функционалну улогу радника у систему.

Релација између класе *HumanProductionResource* и класе *Employee* омогућава повезивање организационог идентитета са његовом производном репрезентацијом. Кардиналност [0..1] обезбеђује да један запослени може, али не мора, бити инстанциран као производни ресурс.

Класа *Machine* моделује технички производни ресурс. Аtribuти ове класе су:

- *type* : *EMachineType* – тип машине према њеној функцији у процесу;
- *description* : *EString* – текстуални опис машине и њеног оперативног контекста.

Енумерација *EMachineType* обухвата следеће вредности:

- *PRODUCTION* – машина намењена извођењу производних операција;

- *MATERIAL_HANDLING* – машина за манипулацију материјалом;
- *INSPECTION* – машина за контролу квалитета;
- *TESTING* – машина за испитивање производа или компоненти;
- *WORK_STATION* – радна станица која интегрише више функционалних елемената.

Класа *Robot* представља специфичну категорију техничког ресурса са потенцијалом аутономије или колаборације. Атрибути укључују:

- *type* : *ERobotType* – класификација робота према његовој намени;
- *canCooperate* : *EBoolean* – означава могућност робота да учествује у кооперативним активностима;
- *canCollaborate* : *EBoolean* – означава способност колаборативног рада са човеком;
- *description* : *EString* – опис функционалних карактеристика робота.

Енумерација *ERobotType* обухвата:

- *INDUSTRIAL* – класични индустријски робот намењен аутоматизованим операцијама;
- *MOBILE* – мобилни робот способан за аутономно кретање;
- *COBOT* – колаборативни робот дизајниран за безбедну интеракцију са човеком.

Класа *Tool* моделује помоћни или пратећи ресурс у процесу. Атрибути укључују:

- *description* : *EString* – опис алата;
- *isShared* : *EBoolean* – означава да ли је алат дељен између више ресурса;
- *isDeviceTool* : *EBoolean* – означава да ли алат представља самосталан уређај.

Процесна димензија моделована је кроз класе *Process* и *ProcessStep*, чиме се уводи формална репрезентација производног тока.

Класа *Process* представља агрегат производних активности и садржи следеће атрибуте:

- *version* : *EInt* – нумеричка ознака верзије процеса;
- *author* : *EString* – идентификација аутора модела процеса;
- *date* : *EString* – датум дефинисања процеса;
- *image* : *EString* – референца на графичку репрезентацију;
- *video* : *EString* – референца на мултимедијални приказ процеса.

Релација композиције између класе *Process* и класе *ProcessStep* са кардиналношћу [0..*] омогућава моделовање произвољног броја процесних корака у оквиру једног процеса.

Класа *ProcessStep* моделује елементарни оперативни корак и садржи следеће атрибуте:

- *type* : *EProcessStepType* – означава функционалну категорију корака;
- *notation* : *EProcessStepNotation* – нотациони облик корака;
- *description* : *EString* – текстуални опис активности;
- *image* : *EString* – графичка репрезентација;
- *time* : *EString* – временски параметар трајања;
- *video* : *EString* – мултимедијални приказ;
- *status* : *EProcessElementStatus* – статус извршења корака.

Енумерација *EProcessStepType* обухвата:

- *REGULAR* – стандардни оперативни корак;

- *START* – почетни корак процеса;
- *END* – завршни корак процеса.

Енумерација *EProcessStepNotation* обухвата:

- *NONE* – без специфичне нотације;
- *OPERATION* – оперативна активност;
- *INSPECTION* – контролна активност;
- *DELAY* – временско чекање;
- *TRANSPORTATION* – транспортна активност.

Енумерација *EProcessElementStatus* обухвата:

- *NONE* – статус није дефинисан;
- *ACTIVE* – корак је у току или активан;
- *INACTIVE* – корак није активан.

Релације између класе *ProcessStep* и класа *Machine* и *Tool* омогућавају моделовање доделе техничких и помоћних ресурса конкретним корацима процеса.

Класа *Organization* укључена је ради моделовања контекста у којем се процес реализује. Атрибути укључују:

- *organizationType* : *EOrgType* – тип организационе структуре;
- *size* : *EOrganizationSize* – величина организације.

Енумерација *EOrgType* омогућава класификацију организационе структуре (*HIERARCHICAL*, *FUNCTIONAL*, *MATRIX*, *FLAT*, *DIVISIONAL*, *NETWORK*, *LINE*, *TEAM_BASED*, *CIRCULAR*, *PROCESS_BASED*, *HYBRID*, *HOLOCRATIC*), док енумерација *EOrganizationSize* моделује величину организације (*MICRO*, *SMALL*, *MEDIUM*, *LARGE*).

Релација између *Organization* и *Process* са кардиналношћу [0..*] омогућава моделовање више процеса унутар једне организације.

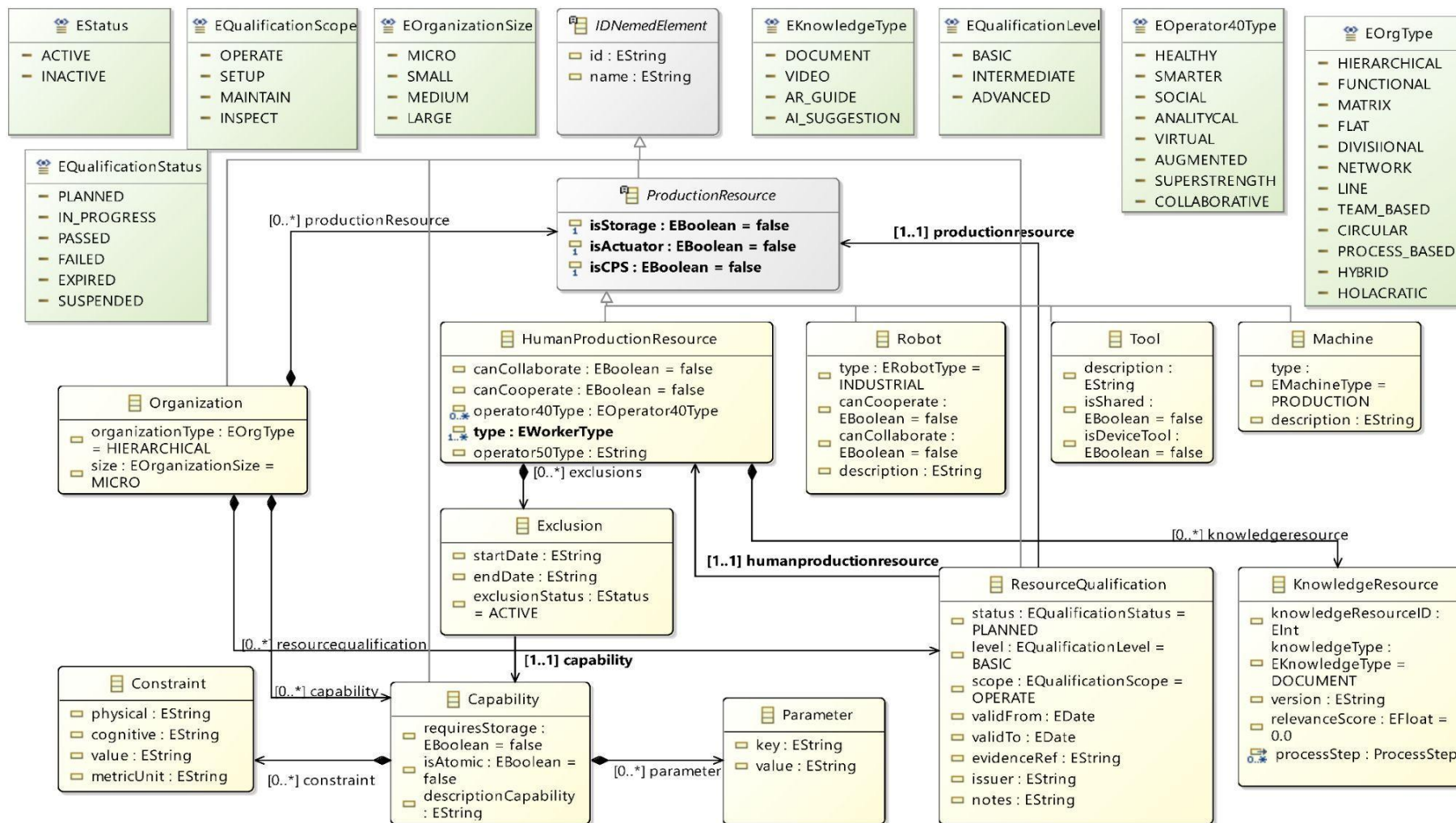
Мета-модел структурне архитектуре производног система омогућава:

1. формалну репрезентацију производних ресурса и њихове типизације,
2. онтолошко обједињавање људских и техничких ентитета кроз заједничку апстракцију,
3. моделовање хијерархијске структуре процеса и његових корака,
4. повезивање ресурса са конкретним оперативним активностима,
5. позиционирање производног система унутар организационог контекста.

Овај подмодел представља структурну основу производне перспективе и успоставља формални оквир у којем се даље могу моделовати оперативне способности, интеракције и аспекти рада усмерени на човека. Његова прецизна мета-моделска дефиниција обезбеђује једнозначност и конзистентност дигиталне репрезентације производног система, чиме се ствара темељ за интеграцију са осталим мета-моделима унутар апстрактне синтаксе предложеног језика.

5.1.2.2 Мета-модел оперативне способности и услова ангажовања радника

Мета-модел оперативне способности и ангажовања радника представља функционалну компоненту производне перспективе апстрактне синтаксе предложеног DSML-а. Док мета-модел структурне архитектуре дефинише онтолошки оквир производног система и типове ресурса, овај подмодел формализује услове под којима људски ресурс може бити ангажован у реализацији конкретних производних активности. Тиме се уводи оперативна димензија моделовања човека, заснована на способностима, квалификацијама, знању и ограничењима. На Слици 20 приказан је одговарајући модел. На мета-моделском (M2) нивоу, овај подмодел омогућава



Слика 20 – Мета-модел оперативне способности и услова ангажовања радника

једнозначно дефинисање оперативне спремности радника, његових компетенцијских граница и регулаторних услова који одређују могућност извршења задатака у оквиру производног процеса.

Централни ентитет овог подмодела јесте класа *Capability*, која моделује појединачну оперативну способност радника. *Capability* представља елементарну или сложену активност коју радник може извршити у оквиру производног система.

Кључни атрибути класе *Capability* укључују:

- *requiresStorage* : *EBoolean* – означава да ли је за извршење конкретне способности неопходно коришћење додатног складишног ресурса. Вредност *true* имплицира потребу за привременим или трајним чувањем материјала или алата током реализације активности, док вредност *false* означава да таква потреба не постоји.
- *isAtomic* : *EBoolean* – означава да ли је способност елементарна (недељива) или се састоји од више под-активности. Вредност *true* означава да је способност основна оперативна јединица, док *false* указује на сложену структуру.
- *descriptionCapability* : *EString* – текстуални опис садржаја и контекста оперативне способности.

Релација између класе *HumanProductionResource* и класе *Capability* са кардиналношћу [0..*] омогућава моделовање више способности по раднику, чиме се уводи флексибилна репрезентација његовог оперативног портфолија.

Класа *Parameter* моделује оперативне или конфигурационе параметре који додатно прецизирају услове извршења одређене способности.

Атрибути укључују:

- *key* : *EString* – назив параметра који идентификује оперативну карактеристику;
- *value* : *EString* – вредност параметра која дефинише конкретно стање или ограничење.

Релација између *Capability* и *Parameter* са кардиналношћу [0..*] омогућава да свака способност буде проширена произвољним бројем параметара, чиме се обезбеђује скалабилност модела.

Класа *Constraint* формализује ограничења која утичу на реализацију одређене способности. Ова класа уводи физичку, когнитивну или техничку димензију граница ангажовања.

Атрибути укључују:

- *physical* : *EString* – опис физичких ограничења (као што су максимална тежина, температура, оптерећење);
- *cognitive* : *EString* – опис когнитивних захтева или ограничења (као што је ниво концентрације, сложеност задатка);
- *value* : *EString* – конкретна вредност ограничења;
- *metricUnit* : *EString* – мерна јединица у којој је ограничење изражено.

Релација између *Capability* и *Constraint* са кардиналношћу [0..*] омогућава моделовање више ограничења по способности, чиме се обезбеђује прецизно дефинисање оперативних граница.

Класа *ResourceQualification* моделује формалну квалификацију потребну за извршење одређене способности или ангажовање над конкретним ресурсом. Ова класа уводи регулаторну и контролну димензију модела.

Атрибути укључују:

- *status* : *EQualificationStatus* – статус квалификације;
- *level* : *EQualificationLevel* – ниво квалификације;

- *scope* : *EQualificationScope* – опсег примене квалификације;
- *validFrom* : *EDate* – датум почетка важења квалификације;
- *validTo* : *EDate* – датум истека квалификације;
- *evidenceRef* : *EString* – референца на документовани доказ квалификације;
- *issuer* : *EString* – институција или организација која је издала квалификацију;
- *notes* : *EString* – додатне напомене или појашњења.

Енумерација *EQualificationStatus* обухвата следеће вредности:

- *PLANNED* – квалификација је планирана, али још није започета;
- *IN_PROGRESS* – процес стицања квалификације је у току;
- *PASSED* – квалификација је успешно стечена;
- *FAILED* – покушај стицања квалификације није био успешан;
- *EXPIRED* – квалификација је истекла и више није важећа;
- *SUSPENDED* – квалификација је привремено суспендована.

Енумерација *EQualificationLevel* обухвата:

- *BASIC* – основни ниво стручности;
- *INTERMEDIATE* – средњи ниво стручности;
- *ADVANCED* – напредни ниво стручности.

Енумерација *EQualificationScope* обухвата:

- *OPERATE* – квалификација за управљање ресурсом;
- *SETUP* – квалификација за подешавање и конфигурацију;
- *MAINTAIN* – квалификација за одржавање;
- *INSPECT* – квалификација за контролу и инспекцију.

Релација између *HumanProductionResource* и *ResourceQualification* са кардиналношћу [0..*] омогућава моделовање више квалификација по раднику, док релација између *ResourceQualification* и *ProductionResource* са кардиналношћу [1..1] обезбеђује једнозначно везивање квалификације за конкретан ресурс.

Класа *KnowledgeResource* моделује знање као подршку оперативним активностима и уводи дигиталну димензију рада.

Атрибути укључују:

- *knowledgeResourceID* : *EInt* – јединствени идентификатор знања;
- *knowledgeType* : *EKnowledgeType* – тип знања;
- *version* : *EString* – верзија знања или документа;
- *relevanceScore* : *EFloat* – нумерички индикатор релевантности знања;
- *processStep* : *ProcessStep* – референца на процесни корак на који се знање односи.

Енумерација *EKnowledgeType* обухвата:

- *DOCUMENT* – текстуални или формални документ;
- *VIDEO* – видео материјал са инструкцијама;
- *AR_GUIDE* – водич заснован на проширеној реалности;
- *AI_SUGGESTION* – препорука генерисана вештачком интелигенцијом.

Релација између *HumanProductionResource* и *KnowledgeResource* са кардиналношћу [0..*] омогућава моделовање више знања повезаних са једним радником.

Класа *Exclusion* моделује ситуације у којима је раднику привремено или трајно онемогућено извршење одређене способности.

Атрибути укључују:

- *startDate* : *EString* – датум почетка важења искључења;
- *endDate* : *EString* – датум престанка важења искључења;
- *exclusionStatus* : *EStatus* – статус искључења.

Енумерација *EStatus* обухвата:

- *ACTIVE* – искључење је тренутно на снази;
- *INACTIVE* – искључење није активно.

Релација између *HumanProductionResource* и *Exclusion* са кардиналношћу [0..*] омогућава моделовање више активних или историјских забрана ангажовања.

Мета-модел оперативне способности и ангажовања радника омогућава:

1. формално моделовање оперативних способности радника;
2. прецизно дефинисање параметара и ограничења извршења;
3. регулаторну контролу кроз квалификације и њихов статус;
4. интеграцију знања као дигиталне подршке раду;
5. моделовање привремених и трајних искључења ангажовања.

Овај подмодел представља функционални слој производне перспективе и успоставља јасну разлику између формалног статуса запосленог и његове конкретне оперативне спремности. Његова структура омогућава једнозначну, проверљиву и скалабилну репрезентацију услова ангажовања у савременом производном систему, чиме се обезбеђује конзистентна интеграција са структурним и процесним мета-моделима унутар апстрактне синтаксе предложеног језика.

5.1.2.3 Мета-модел формализације процесног учешћа и евалуације рада усмерене на човека

Мета-модел процесне интеракције и евалуације усмерене на човека представља динамичку и евалуациону компоненту производне перспективе апстрактне синтаксе предложеног DSML-а. Док мета-модел структурне архитектуре дефинише онтолошки оквир система, а мета-модел оперативне способности формализује услове ангажовања радника, овај подмодел моделује конкретно учешће човека у процесу, његову интеракцију са техничким ресурсима, као и квалитативне и иновационе ефекте тог учешћа. На Слици 21 приказан је одговарајући модел.

На мета-моделском (M2) нивоу, овај подмодел омогућава формалну репрезентацију интеракције човека и машине, праћење одрживости и перформанси рада, као и моделовање механизма континуираног унапређења производног система, у складу са принципима Индустије 5.0.

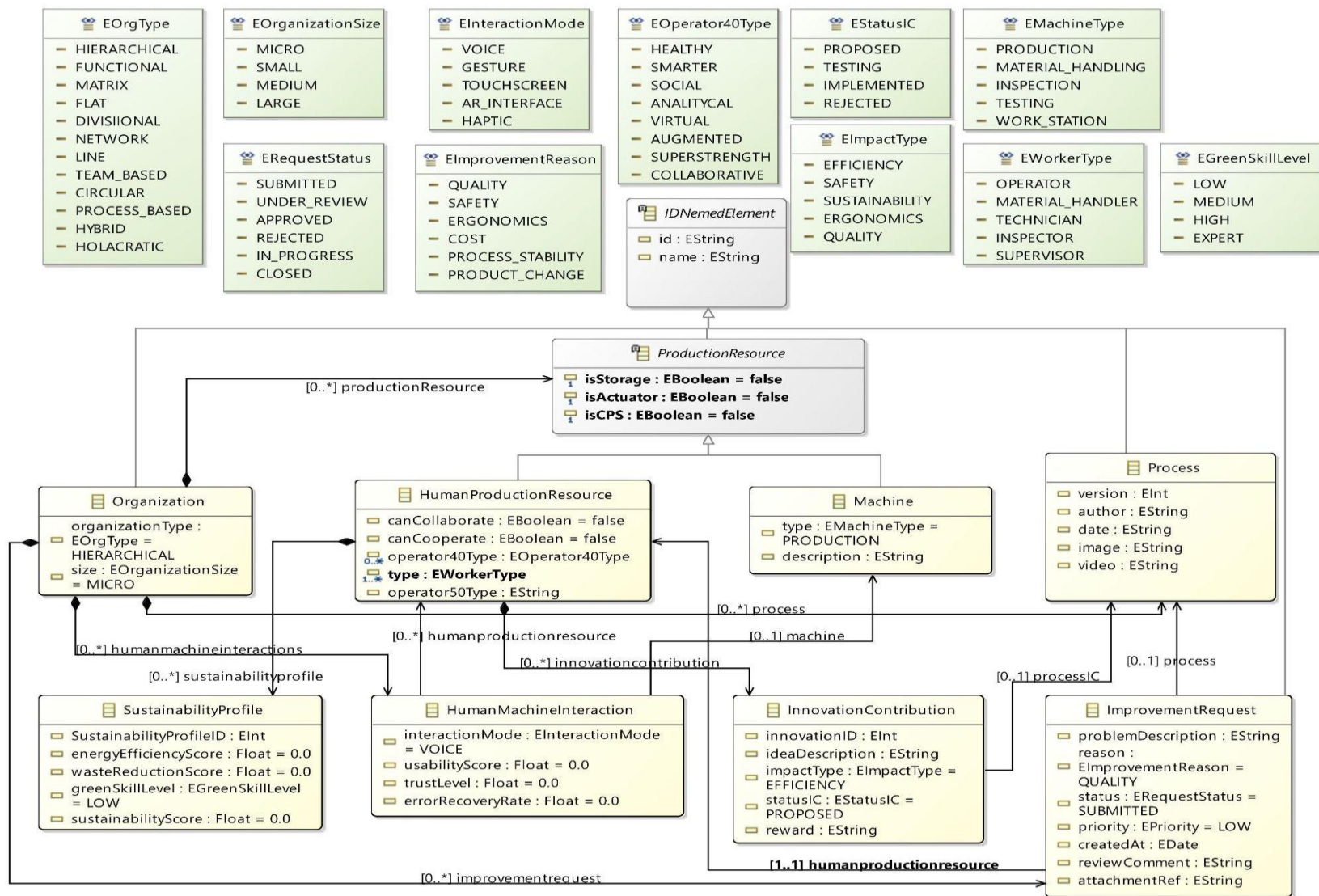
Класа *HumanMachineInteraction* моделује интеракцију између људског и техничког ресурса у оквиру конкретног процеса. Ова класа уводи квантитативне и квалитативне параметре сарадње.

Атрибути укључују:

- *interactionMode* : *EInteractionMode* – начин интеракције између човека и система;
- *usabilityScore* : *Float* – нумерички индикатор употребљивости интерфејса;
- *trustLevel* : *Float* – ниво поверења радника у систем;
- *errorRecoveryRate* : *Float* – способност система или радника да опорави процес након грешке.

Енумерација *EInteractionMode* обухвата:

- *VOICE* – гласовна интеракција;
- *GESTURE* – управљање покретима;
- *TOUCHSCREEN* – интеракција путем додирног екрана;



Слика 21 – Мета-модел формализације процесног учешћа и евалуације рада усмерене на човека

- *AR_INTERFACE* – интеракција кроз проширену реалност;
- *HAPTIC* – тактилна повратна спрега.

Релација између класе *HumanProductionResource* и класе *HumanMachineInteraction* са кардиналношћу [0..*] омогућава моделовање више инстанци интеракције по раднику.

Класа *SustainabilityProfile* моделује одрживу димензију рада и уводи еколошке и енергетске индикаторе перформанси.

Атрибути укључују:

- *SustainabilityProfileID* : *EInt* – јединствени идентификатор профила одрживости;
- *energyEfficiencyScore* : *Float* – индикатор енергетске ефикасности рада;
- *wasteReductionScore* : *Float* – индикатор смањења отпада;
- *greenSkillLevel* : *EGreenSkillLevel* – ниво еколошких компетенција радника;
- *sustainabilityScore* : *Float* – агрегирани индикатор одрживости.

Енумерација *EGreenSkillLevel* обухвата:

- *LOW* – низак ниво еколошких компетенција;
- *MEDIUM* – средњи ниво;
- *HIGH* – висок ниво;
- *EXPERT* – експертски ниво познавања одрживих пракси.

Релација између *HumanProductionResource* и *SustainabilityProfile* омогућава моделовање одрживог понашања радника у производном контексту.

Класа *InnovationContribution* моделује иновациони допринос радника у оквиру производног система.

Атрибути укључују:

- *innovationID* : *EInt* – јединствени идентификатор иновације;
- *ideaDescription* : *EString* – опис иновационе идеје;
- *impactType* : *EImpactType* – тип очекиваног утицаја;
- *statusIC* : *EStatusIC* – статус реализације иновације;
- *reward* : *EString* – облик или опис награде за иновацију.

Енумерација *EImpactType* обухвата:

- *EFFICIENCY* – унапређење ефикасности;
- *SAFETY* – повећање безбедности;
- *SUSTAINABILITY* – унапређење одрживости;
- *ERGONOMICS* – побољшање ергономских услова;
- *QUALITY* – унапређење квалитета производа или процеса.

Енумерација *EStatusIC* обухвата:

- *PROPOSED* – иновација је предложена;
- *TESTING* – иновација је у фази тестирања;
- *IMPLEMENTED* – иновација је имплементирана;
- *REJECTED* – иновација је одбијена.

Релација између *HumanProductionResource* и *InnovationContribution* са кардиналношћу [0..*] омогућава моделовање више иновација по раднику.

Класа *ImprovementRequest* моделује формални захтев за унапређење процеса или система.

Атрибути укључују:

- *problemDescription* : *EString* – опис идентификованог проблема;
- *reason* : *EImprovementReason* – разлог покретања захтева;

- *status* : *ERequestStatus* – статус обраде захтева;
- *priority* : *EPriority* – ниво приоритета захтева;
- *createdAt* : *EDate* – датум креирања захтева;
- *reviewComment* : *EString* – коментар евалуатора;
- *attachmentRef* : *EString* – референца на пратећу документацију.

Енумерација *EImprovementReason* обухвата:

- *QUALITY* – проблем квалитета;
- *SAFETY* – безбедносни разлог;
- *ERGONOMICS* – ергономија рада;
- *COST* – смањење трошкова;
- *PROCESS_STABILITY* – стабилност процеса;
- *PRODUCT_CHANGE* – промена производа.

Енумерација *ERequestStatus* обухвата:

- *SUBMITTED* – захтев је поднет;
- *UNDER_REVIEW* – у фази евалуације;
- *APPROVED* – одобрен;
- *REJECTED* – одбијен;
- *IN_PROGRESS* – у реализацији;
- *CLOSED* – затворен.

Релација између *ImprovementRequest* и *Process* омогућава повезивање захтева са конкретним процесом.

Класа *Process* представља агрегат активности унутар којих се реализују интеракције и унапређења.

Атрибути укључују:

- *version* : *EInt* – нумеричка ознака верзије процеса;
- *author* : *EString* – аутор модела процеса;
- *date* : *EString* – датум дефинисања;
- *image* : *EString* – графичка репрезентација;
- *video* : *EString* – мултимедијална репрезентација.

Релације између *Process* и класа *InnovationContribution* и *ImprovementRequest* омогућавају формално повезивање извршења и унапређења.

Мета-модел процесне интеракције и евалуације усмерене на човека омогућава:

1. формално моделовање интеракције човека и машине;
2. квантификацију квалитета и поузданости рада;
3. увођење одрживих и еколошких индикатора;
4. репрезентацију иновационог доприноса радника;
5. формализацију захтева за унапређење процеса.

Овај подмодел представља евалуациони и развојни слој производне перспективе и омогућава моделовање човека као активног, адаптивног и иновативног актера у савременом производном систему. Његова интеграција са структурним и оперативним мета-моделима обезбеђује потпуну и конзистентну дигиталну репрезентацију улоге човека у Индустрији 4.0 и Индустрији 5.0 окружењу.

5.2 Конкретна синтакса језика

Конкретна синтакса језика дефинише начин на који се концепти дефинисани апстрактном синтаксом представљају кориснику приликом изградње модела. Док апстрактна синтакса језика описује структуру језика кроз метамодел и релације

између концепата, конкретна синтакса дефинише њихове визуелне или текстуалне репрезентације које омогућавају практичну употребу језика у процесу моделовања. На тај начин конкретна синтакса представља везу између формалне структуре језика и његове примене у реалним системима.

У оквиру овог истраживања конкретна синтакса језика *HResModLan* реализована је као графичка синтакса која омогућава визуелно моделовање организационих и производних система. Графичка репрезентација одабрана је због њене погодности за приказ сложених односа између организационих структура, запослених, компетенција и производних ресурса. Визуелни модели омогућавају интуитивније разумевање система и олакшавају анализу односа између различитих елемената организације и производног система. Такав приступ посебно је значајан у савременим индустријским окружењима где је неопходно повезати организационе структуре, људске ресурсе и технолошке системе у јединствени модел.

Графичка конкретна синтакса имплементирана је у оквиру моделарског алата развијеног на платформи *Eclipse*, који омогућава изградњу и анализу модела помоћу графичког едитора. Елементи језика доступни су кориснику кроз палету моделарског окружења и могу се превлачењем поставити на радну површину модела. Након постављања елемената могуће је дефинисати релације између њих, чиме се конструишу модели који представљају различите аспекте организационог и производног система.

Елементи конкретне синтаксе дефинисани су на основу концепата идентификованих у метамоделу језика, као и захтева који су проистекли из анализе домена. Сваки графички елемент представља визуелну репрезентацију одређеног концепта или скупа концепата метамодела и омогућава њихову употребу у моделима. На тај начин се обезбеђује конзистентност између апстрактне и конкретне синтаксе језика.

Коришћењем елемената конкретне синтаксе могуће је моделовати различите аспекте организације и производног система. Пре свега, језик омогућава моделовање организације и њене структуре кроз дефинисање организационих јединица, њихових међусобних односа и локација на којима се одвијају активности организације. На овај начин могуће је приказати различите типове организационих структура, укључујући хијерархијске и флексибилне организационе моделе који су карактеристични за савремене индустријске системе.

Поред тога, конкретна синтакса омогућава моделовање запослених и њихових позиција у организацији. Запослени представљају централне актере организационог система и носиоце пословних активности, због чега је неопходно омогућити њихово повезивање са организационим јединицама, радним местима и организационим функцијама. На тај начин модели креирани овим језиком могу приказати расподелу људских ресурса унутар организације и њихове међусобне односе.

Посебну групу елемената чине елементи који омогућавају моделовање компетенција и квалификација запослених. У савременим индустријским организацијама компетенције запослених представљају један од најважнијих ресурса организације, због чега је неопходно омогућити њихово систематско евидентирање и повезивање са радним местима и организационим улогама. Конкретна синтакса језика омогућава моделовање различитих врста вештина, професионалних профила и формалних квалификација запослених, укључујући образовање, сертификате и лиценце.

Поред организационих и компетенцијских аспеката, језик омогућава и моделовање правног и регулаторног окружења у којем организација функционише. Организације послују у оквиру различитих правних аката и регулатива које дефинишу







правила рада, ограничења и обавезе запослених. Због тога конкретна синтакса језика обухвата елементе који омогућавају моделовање правних аката, организационих правила и регулаторних ограничења која утичу на функционисање организације и производног система.

Важан део језика односи се и на моделовање производних ресурса и производних процеса. Савремени индустријски системи заснивају се на сарадњи између људи и технолошких система, због чега је неопходно омогућити моделовање различитих типова производних ресурса. Конкретна синтакса језика омогућава моделовање људских производних ресурса, машина, робота и алата који учествују у реализацији производних активности. Поред тога, могуће је моделовати производне процесе, процесне кораке и оперативне активности које се извршавају у оквиру организације.


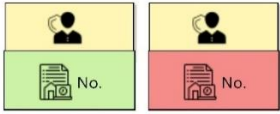
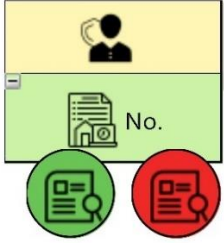


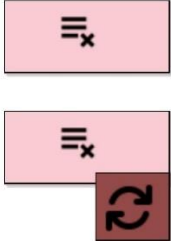


Коришћењем ових елемената могуће је конструисати моделе који представљају ток производних активности и расподелу ресурса унутар производног система. На тај начин омогућено је интегрисано моделовање организационих и производних аспеката индустријског система, што представља један од основних циљева предложеног језика.

Табела 4 приказује преглед свих елемената конкретне синтаксе језика *HResModLan* заједно са њиховим описима и графичким симболима који се користе у алату.




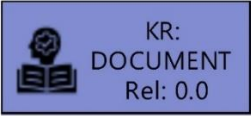




Табела 4 – Графички елементи конкретне синтаксе језика *HResModLan*



Група елемената	Елемент	Опис	Симбол
Организациона структура	<i>Organization</i>	Представља организацију у оквиру које се одвијају пословне и производне активности.	
	<i>Organization Unit</i>	Представља организациону јединицу која је део организационе структуре.	
	<i>Organization Unit Type</i>	Представља тип организационе јединице и омогућава класификацију организационих структура.	
	<i>Legal Person</i>	Представља правни субјект који је одговоран за функционисање организације или њеног дела.	
	<i>Place of Work</i>	Представља физичку локацију на којој се одвијају организационе или производне активности.	
Запослени и радна места	<i>Employee</i>	Представља запосленог који учествује у организационим или производним активностима.	

Група елемената	Елемент	Опис	Симбол
	<i>Workplace</i>	Представља радно место на којем запослени извршава своје задатке.	
	<i>Title</i>	Представља организациону функцију или позицију запосленог у оквиру организације.	
	<i>Experience</i>	Представља професионално искуство запосленог релевантно за обављање одређених послова.	
Компетенције запослених	<i>Soft Skill</i>	Представља интерперсоналне и организационе вештине запослених.	
	<i>Workplace Skill</i>	Представља стручне вештине које су потребне за обављање одређеног радног места.	
	<i>Profession</i>	Представља професионални профил запосленог или област стручности.	
Квалификације запослених	<i>Diploma</i>	Представља формално образовање запосленог.	
	<i>Certificate</i>	Представља професионални сертификат запосленог.	
	<i>License</i>	Представља професионалну лиценцу потребну за обављање одређеног посла.	

Група елемената	Елемент	Опис	Симбол
	<i>License Type</i>	Представља тип лиценце или категорију професионалног овлашћења.	
Уговорни односи и организациона правила	<i>Employment Contract</i>	Представља уговор о раду између запосленог и организације.	
	<i>Principle Statement</i>	Представља организациона правила или принципе рада.	
Правни и регулаторни оквир	<i>Legal Act</i>	Представља правни акт који утиче на организацију рада или производне процесе.	
	<i>Based On</i>	Представља релацију између правних аката која указује на то да је један акт заснован на другом, чиме се моделује хијерархија и међузависност правних прописа.	
	<i>Limitation</i>	Представља ограничење или правило које произилази из правног оквира.	
Производни ресурси	<i>Human Production Resource</i>	Представља запосленог у улози производног ресурса.	
	<i>Machine</i>	Представља машину која учествује у производном процесу.	

Група елемената	Елемент	Опис	Симбол
	<i>Robot</i>	Представља роботски систем који учествује у производним активностима.	
	<i>Tool</i>	Представља алат који се користи у производним активностима.	
	<i>Capability</i>	Представља способност ресурса да изврши одређену производну активност.	
	<i>Constraint</i>	Представља ограничење које се односи на производни ресурс или његову употребу, као што су техничка, безбедносна или регулаторна ограничења.	
	<i>Parameter</i>	Представља параметар који дефинише карактеристике или услове рада ресурса, као што су капацитет, брзина, опсег рада или други релевантни технички показатељи.	
	<i>Exclusion</i>	Представља услов искључења који дефинише ситуације у којима ресурс не може бити коришћен за извршавање одређене активности.	
Производни процеси и активности	<i>Process</i>	Представља производни процес који се састоји од више међусобно повезаних активности.	
	<i>Process Step</i>	Представља појединачни корак у оквиру производног процеса.	
	<i>Task</i>	Представља оперативну активност која се извршава у оквиру организације или производног система.	

Група елемената	Елемент	Опис	Симбол
Безбедност и здравље на раду	<i>Health Safety</i>	Представља правила и процедуре везане за безбедност и здравље на раду.	
	<i>Health Safety Training</i>	Представља обуку запослених из области безбедности на раду.	
Развој и унапређење система	<i>Human Machine Interaction</i>	Представља интеракцију између човека и технолошких система у производном окружењу, укључујући начине сарадње, координације и размене информација.	
	<i>Knowledge Resource</i>	Представља знање организације које може бити коришћено у производним или организационим процесима.	
	<i>Resource Qualification</i>	Представља квалификованост ресурса за извршавање одређених активности, која може бити дефинисана на основу компетенција, искуства или техничких карактеристика ресурса.	
	<i>Innovation Contribution</i>	Представља иновационе предлоге или доприносе унапређењу система.	
	<i>Improvement Request</i>	Представља захтев за унапређење постојећих процеса, ресурса или организационих структура са циљем повећања ефикасности или квалитета рада.	
	<i>Sustainability Profile</i>	Представља карактеристике система које се односе на одрживост организације.	

Група елемената	Елемент	Опис	Симбол
	<i>Adaptability Profile</i>	Представља способност организације или система да се прилагоди променама.	 Flex: 0.0 Learn: 0.0 Multi: LOW
	<i>Ethical Profile</i>	Представља скуп етичких принципа и вредности које се односе на функционисање организације и примену технологије у производном систему.	 Privacy: LOW Fairness: 0.0 Safety: 0.0

Графички симболи приказани у Табели 4 представљају визуелне репрезентације концепата дефинисаних метамоделом језика *HResModLan*. Сваки елемент конкретне синтаксе омогућава моделовање одређеног аспекта организационог или производног система и користи се за конструисање модела који представљају организациону структуру, компетенције запослених и производне процесе.

Након дефинисања графичких елемената језика потребно је анализирати на који начин предложени језик омогућава испуњење захтева идентификованих током анализе домена. Као што је приказано у претходном поглављу, дефинисан је скуп захтева које језик мора да испуни како би омогућио адекватно моделовање човека у организацији и производњи. Ови захтеви односе се на моделовање организационе структуре, запослених, компетенција, правног оквира и производних система.

Елементи конкретне синтаксе језика директно одговарају овим захтевима и омогућавају њихову реализацију у моделима. На пример, захтеви који се односе на моделовање организације и организационе структуре реализовани су кроз елементе који омогућавају моделовање организационих јединица и њихових међусобних односа. Захтеви који се односе на моделовање запослених и њихових компетенција реализовани су кроз елементе који омогућавају евидентирање запослених, њихових вештина и професионалних квалификација. Слично томе, захтеви који се односе на моделовање производних система реализовани су кроз елементе који омогућавају моделовање производних ресурса и активности у производним процесима.

На тај начин конкретна синтакса језика обезбеђује практичан механизам за реализацију захтева идентификованих током анализе домена и омогућава изградњу модела који верно представљају организационе и производне системе.

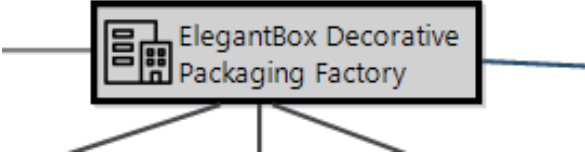
Преглед начина на који језик испуњава дефинисане захтеве приказан је у Табели 5.

Да би се показало на који начин предложени језик испуњава захтеве идентификоване током анализе домена, извршена је анализа односа између дефинисаних захтева и елемената језика.

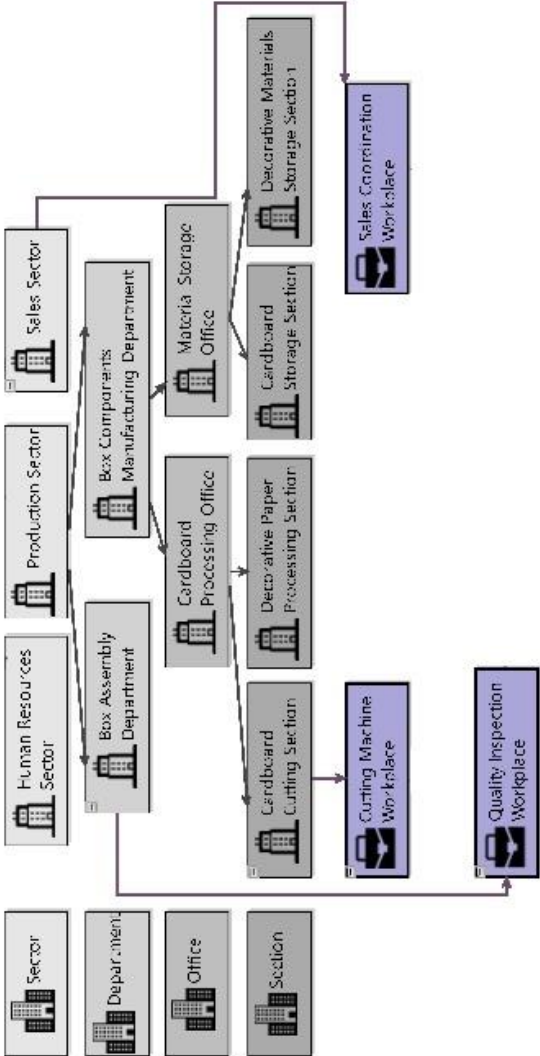
Сваки захтев дефинисан у претходном поглављу одговара одређеном скупу елемената језика који омогућавају његово моделовање. На пример, захтеви који се односе на моделовање организационе структуре реализовани су кроз елементе који омогућавају моделовање организационих јединица и њихових међусобних односа. Захтеви који се односе на моделовање компетенција запослених реализовани су кроз елементе који омогућавају евидентирање вештина и професионалних квалификација запослених.

Слично томе, захтеви који се односе на моделовање производних система реализовани су кроз елементе који омогућавају моделовање производних ресурса и процеса.

Табела 5 – Испуњење захтева језика и резултујући моделни артефакти

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
Захтев 1 – Подршка моделовању организације	Дефинисање организације као контекста: основне карактеристике и припадност ентитета систему.	Модел садржи централни организациони контекст у оквиру ког се смештају структура, људи и производња.	

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
<p style="text-align: center;">Захтев 2 – Организационе структуре</p>	<p>Организационе јединице различитих нивоа + односи надређености / подређеност и + локације рада.</p>	<p>Графички елементи за организационе јединице и везе омогућавају изградњу структуре и њене варијанте (хијерархијска/флексибилна).</p>	<pre> graph TD NoviSad[Novi Sad] --- Factory[ElegantBox Decorative Packaging Factory] Factory --- SalesSector[Sales Sector] Factory --- ProductionSector[Production Sector] Factory --- HRSector[Human Resources Sector] ProductionSector --- BoxAssembly[Box Assembly Department] ProductionSector --- BoxComponents[Box Components Manufacturing Department] BoxAssembly --- MaterialStorage[Material Storage Office] BoxAssembly --- CardboardStorage[Cardboard Storage Section] BoxComponents --- CardboardProcessing[Cardboard Processing Office] BoxComponents --- DecorativePaper[Decorative Paper Processing Section] CardboardProcessing --- CardboardCutting[Cardboard Cutting Section] CardboardProcessing --- DecorativeMaterials[Decorative Materials Storage Section] </pre>

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
<p align="center">Захтев 3 – Радна места</p>	<p>Дефинисање радних места, одговорности и повезаности са организационим јединицама.</p>	<p>Елемент радног места и његове везе ка јединицама и оперативним активностима (задацима) омогућавају расподелу рада и формализацију извршења послова.</p>	 <p>The diagram illustrates an organizational structure with the following components and relationships:</p> <ul style="list-style-type: none"> Sector: Human Resources Sector, Production Sector, Sales Sector. Department: Box Assembly Department, Box Components Manufacturing Department. Office: Cardboard Processing Office, Material Storage Office. Section: Cardboard Cutting Section, Decorative Paper Processing Section, Cardboard Storage Section, Decorative Materials Storage Section 1. Workplaces: Cutting Machine Workplace, Quality Inspection Workplace, Sales Coordination Workplace. <p>Flow of information and materials is indicated by arrows:</p> <ul style="list-style-type: none"> Human Resources Sector and Production Sector are connected to Box Assembly Department and Box Components Manufacturing Department. Box Assembly Department and Box Components Manufacturing Department are connected to Cardboard Processing Office and Material Storage Office. Cardboard Processing Office and Material Storage Office are connected to Cardboard Cutting Section and Decorative Paper Processing Section. Cardboard Cutting Section and Decorative Paper Processing Section are connected to Cardboard Storage Section and Decorative Materials Storage Section 1. Cardboard Storage Section and Decorative Materials Storage Section 1 are connected to Sales Coordination Workplace. Cardboard Cutting Section is connected to Cutting Machine Workplace. Cardboard Processing Office is connected to Quality Inspection Workplace.

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
<p align="center">Захтев 4 – Запослени</p>	<p>Евидентирање запослених и њихово позиционирање у организацији (припадност, везе са радним местима).</p>	<p>Елементи за запослене и везе ка радним местима/улогама омогућавају формализацију HR структуре.</p>	
<p align="center">Захтев 5 – Организационе функције</p>	<p>Моделовање функционалних и руководећих улога и њихов однос према људима/структурама.</p>	<p>Елемент улоге/функције и везе ка запосленима омогућавају експлицитно моделовање ауторитета и одговорности.</p>	

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
<p style="text-align: center;">Захтев 6 – Компетенције</p>	<p>Евидентирање вештина и знања; повезивање са запосленима и радним местима; идентификација „гар“–ова.</p>	<p>Елементи компетенција омогућавају мапирање вештина на људе и позиције ради анализе усклађености, као и евидентирање искуства запослених као фактора који утиче на ниво компетенција.</p>	

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
<p style="text-align: center;">Захтев 7 – Квалификације</p>	<p>Евидентирање образовања, сертификата и лиценци; услови подобности за радна места и задатке.</p>	<p>Елементи квалификација (и њихове везе) омогућавају формалну проверу услова за рад и усклађеност.</p>	
<p style="text-align: center;">Захтев 8 – Уговорни односи</p>	<p>Моделовање типова радних односа и организационих правила која уређују рад.</p>	<p>Елементи уговора и принципа рада омогућавају везивање норми уз запосленог/позицију.</p>	

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
Захтев 9 – Регулатива	Правни акти + ограничења која утичу на посао/производњу; релације између аката.	Елементи правних аката и ограничења омогућавају да регулаторна правила постану део модела.	<pre> graph TD QIW[Quality Inspection Workplace] --> CR[control and reporting] QIW --> MPI[Mandatory Product Inspection 5.2] QIW --> DPRO[Defective Product Reporting Obligation 10.1] MPI --> LGPS[Law on General Product Safety of the Republic of Serbia 2021] DPRO --> LGPS </pre>
Захтев 10 – Производни процеси	Структура процеса и његових активности; могућност декомпозиције на кораке.	Елементи процеса и процесних корака омогућавају моделовање тока производње на жељеном нивоу детаља.	<pre> graph TD DBQIP[Decorative Box Quality Inspection Process] --> RFB[Receive Finished Box for Inspection] DBQIP --> IBA[Inspect Box Appearance and Dimensions] IBA --> RIR[Record Inspection Result] </pre>

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
<p align="center">Захтев 11 – Производни ресурси</p>	<p>Људски и технички ресурси (машина/робот/алати) + карактеристике и ограничења.</p>	<p>Графички елементи ресурса и веза ка процесима/корацима омогућавају формалан опис капацитета система.</p>	

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
<p>Захтев 12 – Оперативне активности и ограничења</p>	<p>Моделовање оперативних активности, њихових ограничења и услова извршавања, укључујући временска ограничења, параметре извођења и повезаност са релевантним правним актима.</p>	<p>Моделовање оперативних активности, њихових ограничења и услова извршавања, укључујући временска ограничења, параметре извођења и повезаност са релевантним правним актима.</p>	

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
<p style="text-align: center;">Захтев 13 – Безбедност и здравље</p>	<p>Безбедносна правила + обуке; повезивање са радним местима, запосленима и активностима</p>	<p>Елементи безбедности и обуке омогућавају експлицитно моделовање захтева за безбедан рад.</p>	<pre> graph TD Workplace[Quality Inspection Workplace] --> Nikola[Nikola Mirković] Workplace --> Visual[Visual Inspection Safety Requirement] Visual --> Training[Quality Inspection Safety Training] Nikola --> Training </pre>

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
<p align="center">Захтев 14 – Интеракција човек-технологија</p>	<p align="center">Сарадња запослених са машинама/роботима; опис режима рада и координације .</p>	<p align="center">Елементи интеракције (планирано) омогућавају формализацију колаборативног рада у Industry 5.0 контексту.</p>	

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
<p>Захтев 15 – Профили и усклађеност система</p>	<p>Моделовање етичке усклађености, одрживости и адаптабилности организационог и производног система.</p>	<p>Елементи профила омогућавају процену система са аспекта етичких принципа, одрживог развоја и способности прилагођавања променама у окружењу.</p>	<p>The diagram illustrates a user profile 'Stefan Ilić' (represented by a yellow box with a hand icon) that is linked to three specific ethical and operational profiles (represented by blue boxes). Each profile contains a set of metrics and their values:</p> <ul style="list-style-type: none"> Profile 1 (Privacy/Fairness/Safety): Privacy: HIGH, Fairness: 0.85, Safety: 0.9 Profile 2 (Energy/Waste/Green): Energy: 0.75, Waste: 0.8, Green: MEDIUM Profile 3 (Flex/Learn/Multi): Flex: 0.8, Learn: 0.85, Multi: HIGH

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
<p style="text-align: center;">Захтев 16 – Знање и квалификација ресурса</p>	<p>Моделовање ресурса знања и квалификација која подржавају извршавање активности и развој система.</p>	<p>Елементи знања и квалификација омогућавају представљање доступних информација, процедура и стручности ресурса, као и њихову примену у организационо м и производном контексту.</p>	<pre> graph TD Stefan[Stefan Ilić] --> DT[Inspection Data Terminal DT-10] DT --> BS[Barcode Scanner BS-200] BS --> RIR[Record Inspection Result] DT --> RIR DT --> IQ[Inspection Result Recording Qualification] RIR --> KR[KR: DOCUMENT Ref: 0.95] </pre>

Захтев	Шта је потребно моделовати (операциона лизација захтева)	Како језик то омогућава (на нивоу конкретне синтаксе)	Резултат/пример
Захтев 17 – Иновације и унапређење	Моделовање иницијатива за побољшање и иновационог доприноса у организационом и производном систему.	Елементи унапређења омогућавају формализацију предлога за побољшање, њихово праћење и процену утицаја на систем.	

На основу приказаних резултата може се закључити да конкретна синтакса језика *HResModLan* омогућава адекватну реализацију захтева идентификованих током анализе домена моделовања човека у организацији и производњи. Графички елементи језика омогућавају моделовање кључних аспеката организационог система, укључујући организациону структуру, запослене, њихове компетенције и квалификације, као и правни и регулаторни оквир у којем организација функционише. Истовремено, језик омогућава и моделовање производних ресурса, производних процеса и оперативних активности које се извршавају у оквиру индустријског система.

Интеграцијом организационих и производних концепата у јединствени моделарски оквир омогућено је моделовање односа између људи, организације и

технолошких система. На тај начин предложени језик пружа основу за изградњу модела који могу послужити као подршка анализи организационих структура, планирању расподеле људских ресурса, праћењу компетенција запослених и моделовању производних процеса.

Конкретна синтакса језика представља визуелну реализацију концепата дефинисаних метамоделом и омогућава њихову практичну употребу у моделарском алату развијеном у оквиру овог истраживања. На тај начин обезбеђена је конзистентност између захтева идентификованих током анализе домена, концепата дефинисаних метамоделом и графичких елемената који се користе приликом изградње модела.

Предложени језик *HResModLan* на тај начин омогућава интегрисано моделовање организационих и производних аспеката индустријских система и представља основу за даљу анализу, развој и примену модела у контексту савремених индустријских окружења.

5.3 HResModLan алат за моделовање

Алат *HResModLan* представља софтверску реализацију предложеног доменски специфичног језика за моделовање, осмишљену са циљем да омогући систематично, формално засновано и истовремено интуитивно моделовање човека у оквиру организационих и производних система. За разлику од општих моделарских алата, *HResModLan* је специјализован за домен људских ресурса у индустријским окружењима, при чему интегрише структурне, функционалне и процесне аспекте у јединствен модел.

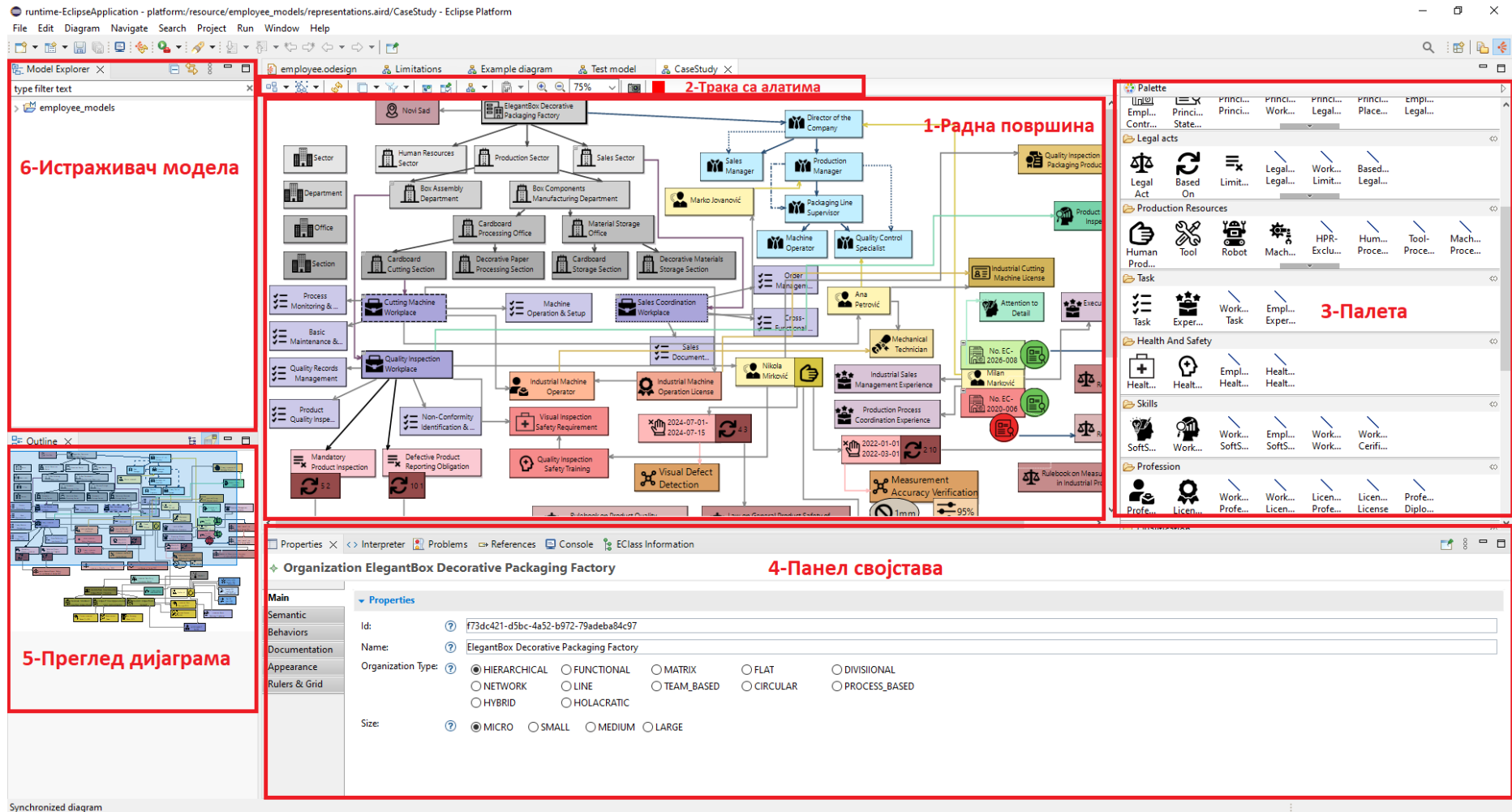
Концептуална основа алата заснована је на принципима моделом вођеног инжењерства, где метамодел представља централни артефакт који дефинише синтаксу и семантику језика. Метамодел је реализован у оквиру платформе *Eclipse Modeling Framework*, чиме је обезбеђена формална основа за изградњу алата, као и могућност проширења и интеграције са другим алатима у оквиру Eclipse екосистема. На основу дефинисаног метамодела развијен је графички едитор који омогућава директно пресликавање концепата језика у визуелну форму, чиме се обезбеђује тесна повезаност између апстрактне и конкретне синтаксе.

Кориснички интерфејс алата организован је као интегрисано моделарско окружење које омогућава кориснику да на интуитиван начин креира, прегледа и анализира моделе. Централни елемент овог окружења представља радна површина, која служи као простор за визуелизацију и структурирање модела, док су остале компоненте интерфејса позициониране тако да пружају контекстуалну подршку процесу моделовања. На Слици 22 приказан је кориснички интерфејс алата *HResModLan*.

Радна површина представља кључни простор у коме се одвија процес моделовања. У њој се елементи постављају, међусобно повезују и организују у логичке структуре које одражавају реалне односе унутар организационог или производног система. Простор је прилагођен раду са сложеним моделима, омогућавајући истовремени приказ већег броја елемената и њихових међусобних веза.

Изнад радне површине налази се трака са алатима, која омогућава брз приступ основним операцијама као што су навигација, зумирање и управљање приказом, чиме се побољшава употребљивост алата.

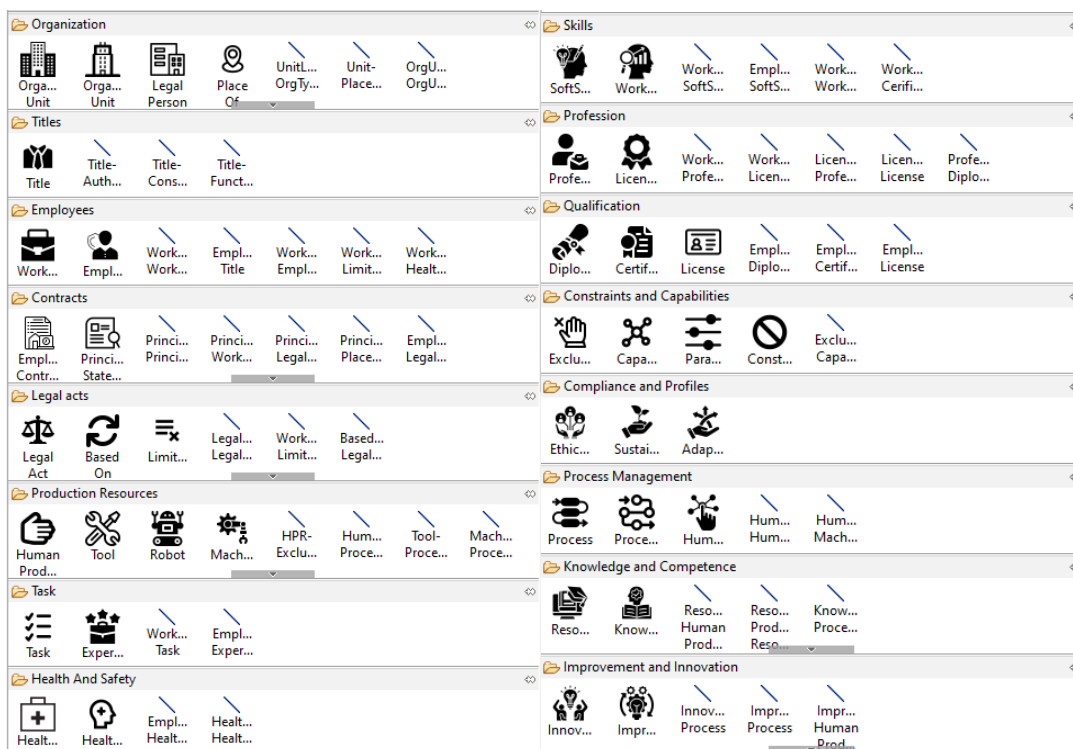
Са десне стране интерфејса позиционирана је палета елемената, која представља примарни механизам за унос елемената језика у модел. Елементи су организовани у тематске целине, што омогућава кориснику да лако пронађе одговарајући концепт и укључи га у модел. Начин интеракције са палетом заснива се



Слика 22 – Кориснички интерфејс алата HResModLan

на принципу превлачења, што доприноси интуитивности и смањује потребу за додатном обуком корисника. На Слици 23 приказана је палета елемената језика.

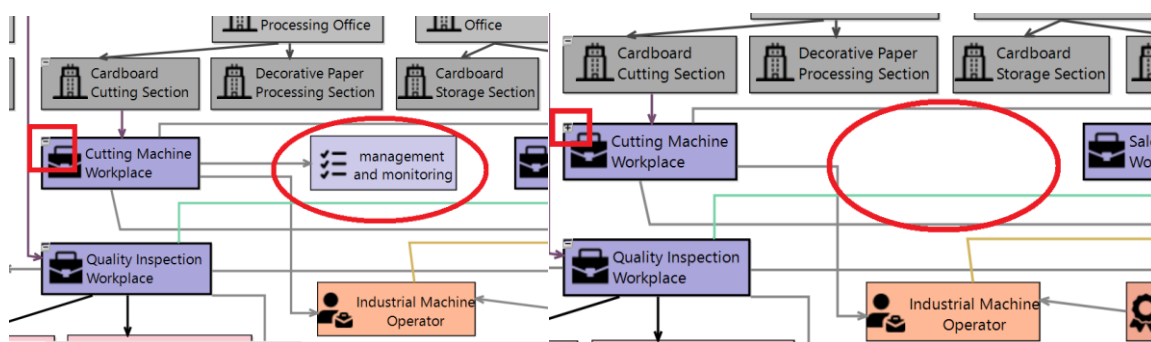
У доњем левом делу интерфејса налази се преглед дијаграма, који представља умањени приказ целокупног модела и омогућава лакшу оријентацију у случају великих и комплексних структура.



Слика 23 – Палета елемената језика

Са леве стране налази се истраживач модела, који обезбеђује хијерархијски приказ свих елемената и њихових односа. Ова компонента омогућава кориснику да посматра модел не само кроз његову визуелну структуру, већ и кроз његову логичку организацију.

У доњем делу интерфејса позициониран је панел својстава, који омогућава детаљну спецификацију атрибута изабраних елемената, чиме се обезбеђује прецизност и формална исправност модела.



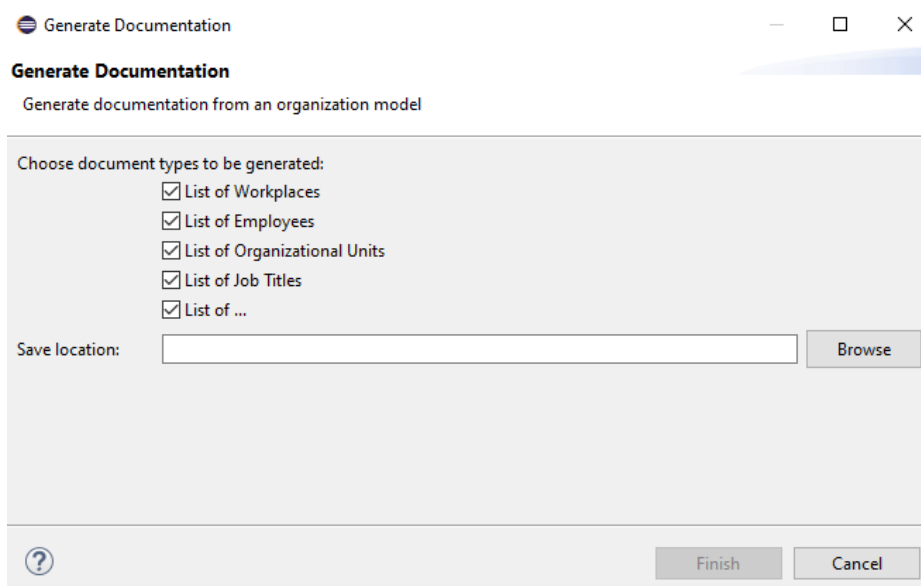
Слика 24 – Механизам приказа и сакривања елемената

Посебан допринос алата огледа се у подршци за управљање сложенешћу модела кроз механизам сакривања и приказивања унутрашњих елемената. Одређени

елементи могу садржати друге елементе као своје саставне делове, при чему корисник има могућност да те унутрашње структуре прикаже или сакрије у зависности од тренутног контекста анализе. На Слици 24 приказан је механизам приказа и сакривања елемената.

Ова функционалност има значајну улогу у управљању комплексношћу, јер омогућава кориснику да се фокусира на релевантне аспекте модела, без губитка информација. На тај начин се постиже баланс између детаљности и прегледности, што је од суштинског значаја при раду са моделима већег обима.

Поред визуелног моделовања, алат пружа подршку за генерисање документације на основу креираних модела. Ова функционалност омогућава трансформацију модела у структуриран текстуални облик, погодан за анализу, архивирање и размену. На Слици 25 приказан је процес генерисања документације.



Слика 25 – Генерисање документације

Процес генерисања документације омогућава избор типова извештаја и дефинисање излазне локације, чиме се омогућава флексибилна примена резултата моделовања у различитим контекстима.

Исправност модела обезбеђује се кроз примену ограничења дефинисаних у метамоделу, као и кроз додатна семантичка правила спецификована помоћу језика OCL-а. Ови механизми омогућавају аутоматску проверу конзистентности модела и спречавају настанак некоректних структура, чиме се повећава поузданост резултата моделовања.

У целини посматрано, алат *HResModLan* представља свеобухватно моделарско окружење које омогућава формално засновано, али истовремено интуитивно моделовање сложених социо-техничких система. Његова способност да интегрише организационе и производне аспекте, уз подршку за визуелизацију, анализу и валидацију, чини га значајним инструментом за истраживање и примену концепата у области Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0.

5.4 Примена *HResModLan* алата у генерисању инструкција и документације

Након дефинисања језика *HResModLan* и приказа развијеног алата за моделовање, у наставку се представља примена предложеног решења у генерисању

пословних садржаја. Циљ овог дела је да се прикаже како модели дефинисани коришћењем DSML-а могу бити искоришћени за аутоматизовано креирање инструкција за запослене и пословне документације.

Генерисање садржаја није засновано на произвољном уносу текста, већ на структури дефинисаној кроз DSML модел, чиме се обезбеђује конзистентност, контрола и прилагођеност домену. На овај начин, модел представља формални улаз који дефинише контекст, улоге, задатке, ресурсе и ограничења, док генеративни механизам на основу тих елемената производи текстуалне излазе у складу са захтевима пословног окружења.

Примена *HResModLan* алата омогућава да се подаци о организационој структури, радним местима, компетенцијама, производним процесима и ресурсима директно искористе за генерисање различитих облика документације. На тај начин се обезбеђује да генерисани садржаји буду усклађени са формално дефинисаним моделом, што значајно смањује могућност недоследности и грешака које се јављају приликом ручне израде документације.

У оквиру предложеног решења посебно су издвојена два типа генерисаних садржаја: инструкције за запослене и пословна документација. Генератор инструкција омогућава формирање јасних, структурираних и контекстуално прилагођених порука, које се могу користити у интерној комуникацији, на пример у виду електронске поште или оперативних упутстава. Са друге стране, генератор документације омогућава креирање формалних докумената, као што су опис радних места, процедуре рада и систематизација, на основу података дефинисаних у моделу.

Процес генерисања обухвата више корака. Најпре се из модела издвајају релевантни елементи, као што су радно место, припадајућа организациона јединица, задаци, захтеване квалификације и повезани ресурси. Након тога, ови подаци се трансформишу у структурирани текст коришћењем унапред дефинисаних шаблона и правила генерисања. Оваквим приступом обезбеђује се да излазни садржај задржи јасну структуру, формалан стил и доследност у изразу.

Предложени приступ има више значајних предности. Пре свега, омогућава убрзано креирање документације, чиме се смањује време потребно за припрему пословних садржаја. Поред тога, обезбеђује се стандардизација, јер сви генерисани документи следе исту структуру и терминологију дефинисану моделом. Такође, омогућена је лакша измена и ажурирање садржаја, будући да се измене врше на нивоу модела, након чега се документација може поново генерисати.

Иако генерисани садржаји показују висок степен структурираности и прилагођености домену, потребно је нагласити да је у одређеним случајевима и даље неопходна људска ревизија, посебно у ситуацијама које захтевају додатну интерпретацију контекста или усклађивање са специфичним организационим правилима.

У наставку поглавља приказани су примери генерисаних инструкција и документације, који илуструју могућности предложеног приступа и улогу *HResModLan* алата у аутоматизацији креирања пословних садржаја.

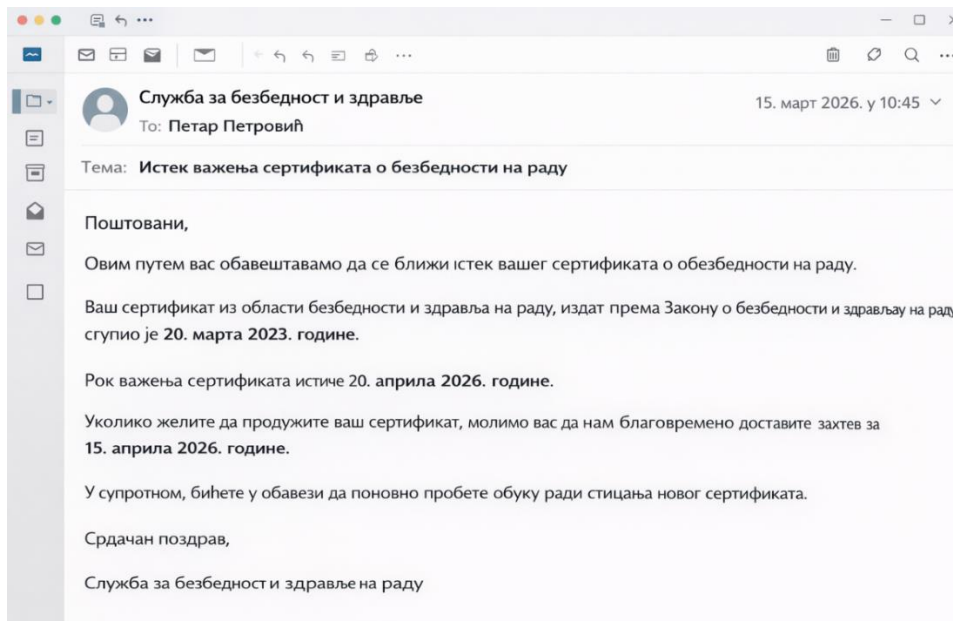
5.4.1 Генератор инструкција за запослене

Генератор инструкција за запослене представља једну од кључних функционалности *HResModLan* алата, чији је циљ аутоматизовано креирање јасних, структурираних и контекстуално прилагођених упутстава за извршавање радних задатака. Ова функционалност омогућава трансформацију формално дефинисаних елемената модела у текстуалне поруке које се могу користити у свакодневној пословној комуникацији.

Основу за генерисање инструкција чине подаци дефинисани у оквиру DSML модела, који обухватају радно место, организациону јединицу, задатке, компетенције, ресурсе и ограничења. На основу ових елемената, систем генерише инструкције које су прилагођене конкретној улози запосленог и контексту у коме се активности извршавају. На овај начин обезбеђује се да садржај инструкција буде релевантан, јасан и усклађен са организационим правилима и производним процесима.

Процес генерисања инструкција подразумева идентификацију релевантног сценарија из модела, као што је извршавање одређеног процесног корака, промена у начину рада или обавештење о административним и регулаторним обавезама. Након тога, систем издваја кључне информације, укључујући опис активности, укључене ресурсе, захтеване параметре и ограничења, и интегрише их у унапред дефинисану структуру поруке. Ова структура обухвата наслов, уводни део, јасно дефинисане кораке или напомене за поступање, као и завршни део са додатним информацијама.

Посебна вредност овог приступа огледа се у чињеници да инструкције нису генерисане на основу општих шаблона, већ директно произилазе из модела који представља формални опис система. На тај начин се обезбеђује висок степен доследности између модела и комуникације према запосленима, што је од изузетног значаја у сложеним производним окружењима.



Слика 26 – Пример генерисане инструкције за запосленог у форми електронске поште

Као пример примене, може се размотрити генерисање обавештења запосленима у вези са истеком ограничења или обавеза које произилазе из регулаторног оквира, као што су сертификати из области безбедности и здравља на раду. На основу података из модела који укључују правни основ, датуме важења и повезане активности, систем генерише поруку којом се запослени благовремено обавештава о истеку обавезе и даљим корацима које је потребно предузети.

Као што је приказано на Слици 26 генерисана порука садржи јасно дефинисан наслов, контекст обавештења, референцу на релевантни правни основ, као и конкретне рокове и инструкције за даље поступање. Оваква структура омогућава да запослени лако разумеју своје обавезе и благовремено реагују у складу са организационим и регулаторним захтевима.

Предложени генератор инструкција омогућава унапређење интерне комуникације кроз брзо и стандардизовано креирање упутстава, смањујући зависност од ручног формулисања садржаја. Поред тога, обезбеђује се лакша адаптација на промене у систему, јер се измене врше на нивоу модела, након чега се нове инструкције могу аутоматски генерисати. На тај начин, *HResModLan* алат доприноси ефикаснијем управљању знањем и подршци запосленима у извршавању свакодневних активности.

5.4.2 Генератор пословне документације

Генератор пословне документације представља значајну функционалност *HResModLan* алата која омогућава аутоматизовано креирање структурираних и формално усклађених докумената на основу података дефинисаних у оквиру DSML модела. За разлику од генератора инструкција, који је усмерен на оперативну комуникацију са запосленима, ова компонента има за циљ генерисање формалне документације која се користи у организационом и управљачком контексту.

Основу за генерисање документације чине елементи модела који описују организациону структуру, радна места, захтеване квалификације, компетенције и задатке. Ови подаци се трансформишу у документе који прате унапред дефинисану структуру, чиме се обезбеђује стандардизација и доследност у представљању информација. На овај начин се елиминише потреба за ручним састављањем документације, што доприноси смањењу времена израде и могућности појаве грешака.

Процес генерисања документације подразумева екстракцију релевантних елемената из модела, њихову организацију у логичке целине и њихово приказивање у облику табеларних или текстуалних докумената. Посебна пажња посвећена је очувању јасне структуре документа, која обухвата идентификацију радног места, припадајућу организациону јединицу, статус попуњености, као и детаљан опис захтева и задатака.

Као пример примене, може се размотрити генерисање документа који приказује систематизацију радних места у оквиру организације. На основу модела, систем аутоматски формира документ који садржи преглед радних места, њихову организациону припадност, потребне квалификације и описе задатака. Оваква документација је од посебног значаја за управљање људским ресурсима, јер омогућава јасан увид у структуру организације и захтеве појединачних позиција.

Као што је приказано на Слици 27, генерисани документ има јасно дефинисану структуру која обухвата више радних места, при чему је за свако радно место приказан назив, организациона јединица, статус, као и детаљан опис квалификација и задатака. Оваква форма омогућава лаку читљивост и прегледност, што је од посебног значаја у сложеним организационим системима.

Предложени генератор пословне документације омогућава значајно унапређење процеса креирања и одржавања документације. Будући да је документација директно повезана са моделом, све измене у моделу могу се аутоматски рефлектовати у новим верзијама докумената. На тај начин се обезбеђује актуелност и конзистентност информација, што је од кључног значаја за ефикасно функционисање организације.

ElegantBox Decorative Packaging Factory			Systematization of workplaces
Workplace No.: 1	Organization unit: Sales Sector	Number of employees: 1	Workpalce status: PLANNED
Workplace name: Sales Coordination Workplace			
Minimum qualification and experience:			
Profession qualification level: LEVEL_4 - LEVEL_5 Experience: Previous experience in sales coordination, customer service, or administrative support roles.			
Tasks:			
<ul style="list-style-type: none"> • Order Management: Manage customer orders from initial inquiry to final delivery, ensuring accuracy, completeness, and adherence to agreed timelines. • Cross-Functional Coordination: Coordinate communication and activities between Sales, Production, and Logistics to ensure efficient order execution and issue resolution. • Sales Documentation & Reporting: Maintain and update sales documentation, customer records, and reports, ensuring data accuracy and availability for internal use. 			
Workplace No.: 2	Organization unit: Box Assembly Department	Number of employees: 2	Workpalce status: FILLED
Workplace name: Quality Inspection Workplace			
Minimum qualification and experience:			
Profession qualification level: LEVEL_3 - LEVEL_4 Experience: Experience in quality control, inspection, or a manufacturing environment is preferred.			
Tasks:			
<ul style="list-style-type: none"> • Quality Records Management: Maintain accurate inspection records and support the implementation of corrective and preventive actions in production. • Product Quality Inspection: Conduct visual and functional inspections of finished and semi-finished products to ensure compliance with defined quality standards. • Non-Conformity Identification & Reporting: Identify defects and deviations, document findings, and report non-conformities in accordance with internal procedures. 			
Workplace No.: 3	Organization unit: Cardboard Cutting Section	Number of employees: 1	Workpalce status: NOTFILLED
Workplace name: Cutting Machine Workplace			
Minimum qualification and experience:			
Profession qualification level: LEVEL_3 - LEVEL_4 Experience: Experience in machine operation within a manufacturing or production environment.			
Tasks:			
<ul style="list-style-type: none"> • Machine Operation & Setup: Set up and operate cutting machines in accordance with production orders and technical requirements. • Process Monitoring & Quality Control: Monitor machine performance and ensure precision, consistency, and quality of the cutting process. • Basic Maintenance & Troubleshooting: Perform routine maintenance and report any technical issues or irregularities to ensure continuous operation. 			

Слика 27 – Пример генерисане документације систематизације радних места

6 Примена и анализа MD решења и DSML-a

У овом поглављу приказана је примена предложеног MD решења и доменски специфичног језика за моделовање *HResModLan* у контексту моделовања човека у савременим индустријским системима. Након дефинисања концептуалних основа језика, његовог метамодела, конкретне синтаксе и развоја одговарајућег моделарског алата, у овом поглављу разматра се практична примена предложеног приступа и анализирају се резултати његове употребе.

Циљ овог поглавља је да се покаже на који начин предложено MD решење и DSML омогућавају моделовање реалних организационих и производних система, као и да се анализирају њихове могућности у представљању улоге човека у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0. Посебна пажња посвећена је интеграцији организационих, компетенцијских и производних аспеката у јединствени модел, што омогућава свеобухватнију анализу односа између људских ресурса, организационе структуре и технолошких система.

У оквиру овог поглавља приказан је пример примене предложеног језика и алата на моделовање конкретног индустријског сценарија. Кроз овај пример демонстрира се начин на који се елементи језика користе за опис организационе структуре, дефинисање запослених и њихових компетенција, као и моделовање производних ресурса и процеса. На тај начин илуструје се практична употреба *HResModLan* језика и његова способност да интегрише различите аспекте индустријског система у јединствен модел.

Поред демонстрације примене, у поглављу је дата и анализа предложеног MD решења, са циљем процене његове адекватности у односу на захтеве идентификоване током анализе домена. Анализа обухвата процену могућности језика да представи кључне концепте домена, његову применљивост у моделовању организационих и производних система, као и предности које произилазе из употребе доменски специфичног приступа моделовању.

На тај начин ово поглавље представља практичну валидацију предложеног DSML-a и MD решења, показујући да предложени приступ омогућава систематично, формално и интегрисано моделовање човека у савременим индустријским окружењима. Резултати приказани у овом поглављу потврђују применљивост и потенцијал предложеног језика за анализу, планирање и унапређење организационих и производних система.

6.1 Случај употребе

У циљу демонстрације предложеног приступа моделовању организационих, људских и производних аспеката савремених индустријских система, у овом раду разматра се случај употребе заснован на моделу фабрике декоративне амбалаже фабрика декоративне амбалаже *ElegantBox* (енгл. *ElegantBox Decorative Packaging Factory*). Резултат овог случаја употребе, односно модел креиран коришћењем језика *HResModLan* приказан је на Слици 28 у оквиру прилога. Изабрани пример представља типично производно окружење које обухвата више нивоа организационе структуре, различите врсте радних места, више категорија запослених, производне ресурсе, правни и регулаторни оквир, као и елементе интеракције човек-технологија и континуираног унапређења система. Овакво окружење је погодно за анализу јер омогућава приказ различитих аспеката моделовања у јединственом формалном оквиру, почев од описивања организације и њених јединица, преко запослених, њихових функција, компетенција и квалификација, па све до њиховог учешћа у

производним процесима, сарадње са технолошким ресурсима и укључивања у механизме развоја и иновација [154].

Развој модела заснива се на концептима доменски специфичног језика чији је циљ формално описивање организације, људских ресурса и производних ресурса у савременим производним системима. Потреба за оваквим приступом произилази из развоја концепата Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, у којима се производни системи све више ослањају на интеграцију дигиталних технологија, паметних машина, аутономних и колаборативних ресурса, али и на систематично укључивање човека као носиоца знања, одговорности и одлучивања. Док је Индустрија 4.0 у значајној мери била усмерена на аутоматизацију, дигитализацију и међусобно повезивање технолошких компоненти, новији приступи наглашавају човека као централни елемент производног система, његове способности, ограничења, знање, безбедност, етичку позицију и могућност учешћа у еволуцији система. Из тог разлога, неопходно је обезбедити механизме који омогућавају систематично и формално описивање свих ових аспеката у контексту организације и производних процеса [155].

Један од кључних изазова приликом моделовања оваквих система јесте чињеница да исти ентитети могу имати више различитих улога унутар модела. Са једне стране, запослени је члан организације, смештен у оквиру одређене организационе јединице, распоређен на конкретно радно место, са одређеном функцијом, уговорним статусом, квалификацијама и компетенцијама. Са друге стране, исти или сродни ентитет може учествовати у извршавању производних активности као људски производни ресурс (*HumanProductionResource*), који је део ширег скупа производних ресурса и који поседује специфичне способности, ограничења, параметре рада и интеракције са технолошким системима. У предложеном приступу неопходно је, стога, узети у обзир више међусобно повезаних перспектива које заједно дају свеобухватан опис организационог и производног система.

У оквиру овог случаја употребе почетна тачка моделовања јесте организација *ElegantBox Decorative Packaging Factory*, смештена у Новом Саду. Организација се посматра као централни контекст у оквиру којег се смештају организациона структура, радна места, запослени, организационе функције, производни процеси и ресурси. Организациона структура је хијерархијски постављена и обухвата сектор људских ресурса (*Human Resources Sector*), производни сектор (*Production Sector*) и сектор продаје (*Sales Sector*). У оквиру производног сектора даље су дефинисана одељење за склапање кутија (*Box Assembly Department*) и одељење за производњу компоненти кутија (*Box Components Manufacturing Department*). Унутар ових организационих јединица моделоване су уже организационе целине, као што су канцеларија за обраду картона (*Cardboard Processing Office*), канцеларија за складиштење материјала (*Material Storage Office*), секција за сечење картона (*Cardboard Cutting Section*), секција за обраду декоративног папира (*Decorative Paper Processing Section*), секција за складиштење картона (*Cardboard Storage Section*) и секција за складиштење декоративних материјала (*Decorative Materials Storage Section*). Овако дефинисана структура омогућава јасно представљање организационих нивоа, односа надређености и подређености, као и позиционирање радних места и запослених унутар организационог система.

У оквиру овако дефинисане организационе структуре успостављају се различита радна места, која представљају основне позиције на које се распоређују запослени. Свако радно место описано је кроз скуп задатака, одговорности и захтева које запослени мора да испуни како би могао да обавља послове на тој позицији. У случају фабрике декоративне амбалаже *ElegantBox Decorative Packaging Factory*,

радна места су повезана како са организационим јединицама, тако и са конкретним оперативним активностима и захтевима у погледу компетенција и квалификација. Пример радних места у оквиру организационе структуре фабрике, заједно са основним задацима, захтеваним квалификацијама и додатним захтевима, приказан је у Табели 6. Ови захтеви могу се односити на формално образовање, професионалне квалификације, обуке, сертификате, лиценце, али и на специфичне техничке и социјалне вештине које су потребне за успешно извршавање послова. Описивањем ових карактеристика омогућава се прецизније повезивање радних места са компетенцијама и квалификацијама запослених, што је од посебног значаја за ефикасно управљање људским ресурсима у оквиру организације.

Табела 6 – Пример радних места и захтева у организационој структури фабрике декоративне амбалаже

Организациона јединица	Радно место	Основни задаци	Захтеване квалификације	Додатни захтеви
Секција за сечење картона (<i>Cardboard Cutting Section</i>)	Радно место машине за сечење (<i>Cutting Machine Workplace</i>)	Руковање машином за сечење картона и праћење параметара рада	Машински техничар (<i>Mechanical Technician</i>), лиценца за рад на индустријским машинама (<i>Industrial Machine Operation License</i>)	Обука за рад на машини, прецизност у раду
Сектор продаје (<i>Sales Sector</i>)	Радно место координације продаје (<i>Sales Coordination Workplace</i>)	Координација наруџбина, комуникација са купцима и евиденција захтева	Економско или пословно образовање	Комуникационе вештине, организационе способности
Радно место контроле квалитета (<i>Quality Inspection Workplace</i>)	Контрола квалитета и извештавање	Инспекција изгледа и димензија кутија, евидентирање резултата контроле	Сертификат за инспекцију квалитета амбалажних производа (<i>Quality Inspection of Packaging Products</i>)	Пажња на детаље, познавање процедура контроле
Сектор људских ресурса (<i>Human Resources Sector</i>)	HR функција / кадровска подршка	Управљање кадровским подацима и подршка организацији рада	Одговарајуће високо образовање	Организационе и административне вештине

Поред радних места, модел садржи и експлицитно представљене запослене и њихове организационе функције. У примеру су дефинисани Милан Марковић (*Milan Marković*), Марко Јовановић (*Marko Jovanović*), Ана Петровић (*Ana Petrović*), Никола Мирковић (*Nikola Mirković*) и Стефан Илић (*Stefan Ilić*). Ови запослени повезани су са

одговарајућим организационим функцијама као што су директор компаније (*Director of the Company*), менаџер продаје (*Sales Manager*), менаџер производње (*Production Manager*), супервизор линије паковања (*Packaging Line Supervisor*), оператер машине (*Machine Operator*) и специјалиста контроле квалитета (*Quality Control Specialist*). На овај начин модел не приказује само ко је запослен у организацији, већ и коју функционалну и руководећу улогу заузима, као и како су те функције међусобно повезане кроз односе ауторитета, функционалне координације и консултантске подршке.

Компетенције запослених моделоване су кроз елементе који описују вештине и знања релевантна за извршавање послова. У примеру су коришћени елементи као што су инспекција квалитета производа (*Product Quality Inspection*) и пажња на детаље (*Attention to Detail*), чиме се успоставља веза између захтева радног места и способности запосленог. Компетенције се не посматрају изоловано, већ у непосредној вези са радним местима и људима, што омогућава анализу усклађености и потенцијалних „gap“-ова. Поред вештина, модел обухвата и искуство као фактор који утиче на ниво компетенција. Код Милана Марковића, који заузима функцију директора компаније, експлицитно су моделовани искуство у извршном менаџменту (*Executive Management Experience*), искуство у индустријском менаџменту продаје (*Industrial Sales Management Experience*) и искуство у координацији производних процеса (*Production Process Coordination Experience*), чиме се приказује како професионална историја запосленог доприноси његовој актуелној улози у организацији.

У циљу систематизације и јаснијег приказа односа између запослених, њихових радних места, компетенција и квалификација, у наставку је дат преглед кључних карактеристика запослених у оквиру модела. Табела 7 приказује како су конкретни запослени повезани са радним местима, које компетенције поседују, као и које формалне квалификације и искуство утичу на њихову способност да извршавају задате активности. Оваква репрезентација омогућава лакшу анализу усклађености између захтева радних места и расположивих људских ресурса.

Табела 7 – Компетенције и квалификације запослених

Запослени	Радно место	Кључне компетенције	Квалификације	Искуство
Никола Мирковић (<i>Nikola Mirković</i>)	Радно место контроле квалитета (<i>Quality Inspection Workplace</i>)	Инспекција квалитета производа (<i>Product Quality Inspection</i>), пажња на детаље (<i>Attention to Detail</i>)	Сертификат за инспекцију амбалажних производа (<i>Quality Inspection of Packaging Products</i>)	Искуство у контроли квалитета
Ана Петровић (<i>Ana Petrović</i>)	Специјалиста контроле квалитета (<i>Quality Control Specialist</i>)	Анализа квалитета, контрола процеса	Техничко образовање	Искуство у производњи

Запослени	Радно место	Кључне компетенције	Квалификације	Искуство
Милан Марковић (<i>Milan Marković</i>)	Директор компаније (<i>Director of the Company</i>)	Управљачке и организационе способности	Универзитетско образовање	Извршно менаџерско искуство (<i>Executive Management Experience</i>), искуство у продаји и координацији процеса
Марко Јовановић (<i>Marko Jovanović</i>)	Менаџер продаје (<i>Sales Manager</i>)	Комуникација и координација	Економско образовање	Искуство у индустријској продаји
Стефан Илић (<i>Stefan Ilić</i>)	Људски производни ресурс (<i>Human Production Resource</i>)	Рад са системима, унос података	Обука за рад са терминалом	Искуство у процесу инспекције

Формалне квалификације запослених моделоване су кроз образовање, сертификате и лиценце. У примеру су приказани професионални профили као што је машински техничар (*Mechanical Technician*), као и лиценце попут лиценце за рад на индустријским машинама (*Industrial Machine Operation License*) и лиценце за машину за сечење (*Industrial Cutting Machine License*). Такве квалификације представљају формалну основу за обављање конкретних послова и повезане су са радним местима и функцијама. Овим се омогућава формална провера подобности запослених за обављање одређених активности и усклађеност са прописаним условима.

Значајан део модела односи се на уговорне односе и организациона правила која регулишу рад. Запослени су повезани са уговорима о раду и принципима рада, што омогућава моделовање формалног односа између организације и појединца. Посебно је илустративан пример Милана Марковића, код кога су приказана два уговора различитог периода и више пратећих принципа рада, од којих су неки активни, а неки неактивни. На тај начин модел не представља само статичко стање, већ и временску димензију радног односа и промене у обавезама и правилима која се односе на запосленог. Овакво моделовање је нарочито важно у сложеним организационим системима, где се улоге, овлашћења и одговорности временом мењају.

Правни и регулаторни оквир интегрисан је у модел кроз правне акте (*Legal Act*), ограничења (*Limitation*) и везе *based on*, које омогућавају да се различити организациони, безбедносни и производни услови формално повежу са релевантним прописима. У примеру су коришћени акти као што су Закон о раду Републике Србије (*Labor Law of the Republic of Serbia*), Закон о општој безбедности производа Републике Србије (*Law on General Product Safety of the Republic of Serbia*), Правилник о контроли квалитета у производњи (*Rulebook on Product Quality Inspection in Manufacturing*) и Правилник о тачности мерења у индустријској производњи (*Rulebook on Measurement Accuracy in Industrial Production*). На нивоу радног места контроле квалитета дефинисана су ограничења као што су обавезна инспекција производа (*Mandatory Product Inspection*) и обавеза пријављивања неисправног производа (*Defective Product*

Reporting Obligation), при чему су ова ограничења повезана са конкретним члановима и клаузулама релевантног закона. На овај начин модел омогућава да регулаторна правила постану саставни део организационог и производног система, а не спољни текстуални контекст.

Посебну целину у моделу чини производни процес инспекције квалитета декоративних кутија (*Decorative Box Quality Inspection Process*). Тај процес је разложен на више корака: пријем готове кутије за инспекцију (*Receive Finished Box for Inspection*), инспекција изгледа и димензија кутије (*Inspect Box Appearance and Dimensions*) и евидентирање резултата инспекције (*Record Inspection Result*). Ова декомпозиција омогућава моделовање тока извршења производних активности на довољно прецизном нивоу. Сваки корак је повезан са релевантним производним ресурсима, што омогућава формално описивање начина на који се процес извршава.

У циљу прецизнијег приказа извршавања производног процеса и његове повезаности са ресурсима и ограничењима, у наставку је дат преглед кључних корака процеса инспекције квалитета декоративних кутија (*Decorative Box Quality Inspection Process*). Табела 8 приказује везу између процесних корака, ресурса који учествују у њиховом извршавању, као и релевантних ограничења и правног оквира. Оваква репрезентација омогућава јасније разумевање интеракције између људских и технолошких ресурса, као и услова под којима се активности извршавају.

Табела 8 – Процесни кораци, ресурси и ограничења

Процесни корак	Опис активности	Укључени ресурси	Ограничења / параметри	Правни основ
Пријем кутије за инспекцију (<i>Receive Finished Box for Inspection</i>)	Пријем готовог производа у процес контроле	Људски ресурс (<i>Human Production Resource</i>), оператер	-	Закон о општој безбедности производа (<i>Law on General Product Safety of the Republic of Serbia</i>)
Инспекција изгледа и димензија (<i>Inspect Box Appearance and Dimensions</i>)	Визуелна и димензиона контрола производа	Уређај за оптичку инспекцију (<i>Optical Inspection Device QI-200</i>), мерни калибар (<i>Measurement Caliper</i>), робот (<i>Box Positioning Robot R-12</i>)	Детекција дефеката (<i>Visual Defect Detection</i>)	Правилник о контроли квалитета (<i>Rulebook on Product Quality Inspection in Manufacturing</i>)
Евидентирање резултата (<i>Record Inspection Result</i>)	Унос резултата контроле у систем	Терминал за унос података (<i>Inspection Data Terminal DT-10</i>), баркод скенер (<i>Barcode Scanner BS-200</i>), људски ресурс (Стефан Илић)	Тачност 95%, толеранција 1 mm (<i>Measurement Accuracy Verification</i>)	Правилник о тачности мерења (<i>Rulebook on Measurement Accuracy in Industrial Production</i>)

Производни ресурси моделовани су као људски и технички ентитети који учествују у реализацији производних корака. Технолошки ресурси обухватају уређај за оптичку инспекцију (*Optical Inspection Device QI-200*), мерни калибар (*Measurement Caliper*), робота за позиционирање кутија (*Box Positioning Robot R-12*), терминал за унос података инспекције (*Inspection Data Terminal DT-10*) и баркод скенер (*Barcode Scanner BS-200*). Ови ресурси су повезани са конкретним корацима процеса, чиме се дефинише њихова улога у извршењу активности. Поред техничких ресурса, модел обухвата и људске производне ресурсе (*HumanProductionResource*), који не морају нужно бити директно изведени из запосленог као организационог ентитета, већ могу представљати самостални ресурс у контексту процеса. У том смислу, Стефан Илић (*Stefan Ilić*) је моделован као људски производни ресурс у контексту евидентирања резултата инспекције.

У оквиру производног аспекта посебно су значајне способности (*Capability*), ограничења (*Constraint*), параметри (*Parameter*) и временска искључења (*Exclusion*). У примеру су моделоване способности као што су детекција визуелних дефеката (*Visual Defect Detection*) и верификација тачности мерења (*Measurement Accuracy Verification*). Способност верификације тачности мерења повезана је са ограничењем које подразумева стабилан положај руке и прецизно руковање алатом, као и висок ниво пажње приликом читавања резултата. Квантитативно, ово ограничење је изражено вредношћу од 1 mm, док је параметар способности описан тачношћу од 95%. Поред тога, ова способност је повезана са релевантним правним актом, односно Правилником о тачности мерења у индустријској производњи (*Rulebook on Measurement Accuracy in Industrial Production*). На овај начин модел омогућава да се способности ресурса не посматрају само као апстрактне функције, већ као елементи који су истовремено условљени параметрима, ограничењима, временским интервалима и правном основом.

Модел даље обухвата и аспект безбедности и здравља на раду. У том смислу су дефинисани захтев за безбедност визуелне инспекције (*Visual Inspection Safety Requirement*) и обука за безбедност контроле квалитета (*Quality Inspection Safety Training*), чиме се омогућава формално повезивање радних места, активности и људи са безбедносним захтевима. Укључивање ових елемената је важно јер омогућава да се рад не посматра искључиво из перспективе ефикасности, већ и из перспективе безбедности и усклађености са прописима.

У савременим производним системима посебан значај има и интеракција између човека и технологије. У предложеном моделу овај аспект је представљен кроз елемент интеракције човек-технолозија (*Human-Machine Interaction*), који је у примеру повезан са кораком евидентирања резултата инспекције (*Record Inspection Result*). У том кораку људски производни ресурс сарађује са терминалом за унос података и баркод скенером, а могућа је и подршка кроз гласовни интерфејс (*VOICE*). Овакво моделовање омогућава експлицитно представљање начина на који људски и технолошки ресурси заједнички учествују у извршавању активности, што је посебно релевантно у контексту Индустрије 5.0.

У циљу процене система са аспекта ширих квалитативних карактеристика, модел укључује профиле као што су етичка усклађеност (*Ethical Compliance*), профил одрживости (*Sustainability Profile*) и профил адаптабилности (*Adaptability Profile*). Ови профили су везани за људске производне ресурсе и омогућавају процену система из више перспектива. Етичка усклађеност обухвата аспекте као што су свест о приватности, ниво правичности и индекс безбедносне културе. Профил одрживости обухвата енергетску ефикасност, смањење отпада и ниво „зелених“ вештина, док профил адаптабилности обухвата флексибилност, брзину учења, способност

вишезадаћности и ниво отпорности. На овај начин модел превазилази искључиво оперативну и организациону раван и укључује димензије које су важне за дугорочни развој и евалуацију система.

Посебно значајан аспект модела односи се на знање и квалификацију ресурса. У примеру је дефинисан ресурс знања (*Knowledge Resource*) у виду документа који представља упутство за коришћење опреме и унос резултата инспекције. Овај ресурс знања повезан је и са људским производним ресурсом и са конкретним техничким ресурсима, као што су терминал за унос података и баркод скенер. На тај начин модел омогућава да се знање посматра и као подршка људском извршењу активности и као ресурс релевантан за коришћење технолошке опреме. Поред тога, моделована је и квалификација ресурса за евидентирање резултата инспекције (*Inspection Result Recording Qualification*), чиме се додатно наглашава способност ресурса да учествује у конкретним производним активностима.

Конечно, модел подржава и механизме развоја и унапређења система. У примеру је организација повезана са захтевом за оптимизацију уноса података инспекције (*Inspection Data Entry Optimization Request*), који је везан за конкретан процес и релевантан људски производни ресурс. Истовремено, на нивоу људског производног ресурса моделован је иновациони допринос (*Innovation Contribution*), који представља конкретно решење у виду аутоматског предпопуњавања резултата инспекције на основу скенирања баркода и унапред дефинисаних шаблона. Ова иновација је означена као реализована и повезана је са самим процесом инспекције, чиме се моделује комплетан циклус унапређења: од препознавања проблема, преко иницијативе за побољшање, до конкретног иновационог решења и његовог утицаја на процес.

Интеграцијом организационог аспекта, аспекта људских ресурса, производних ресурса, процеса, регулативе, безбедности, интеракције човек-технолозија, знања и иновација добија се свеобухватан модел организационог и производног система. Овакав приступ омогућава не само детаљно описивање елемената система, већ и разумевање међусобних односа између структуре организације, радних места, запослених, производних корака, ресурса, ограничења и механизма развоја. Истовремено, он представља основу за даљи развој формалних механизма за анализу, планирање и подршку одлучивању у савременим паметним фабрикама, у којима људи, машине, алати, работи и дигитални системи сарађују у оквиру јединственог, формално описаног производног окружења.

6.2 Евалуација језика *HResModLan* и алата за моделовање

Евалуација доменски специфичног језика *HResModLan* спроведена је са циљем систематске процене његове способности да адекватно моделује човека у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, као и да испуни захтеве различитих група корисника. У складу са налазима из литературе, који указују да у софтверско-инжењерским експериментима не постоји статистички значајна разлика у резултатима евалуације између студената и професионалаца [156], у процес евалуације укључени су и учесници из академске заједнице и индустрије. Овакав приступ доприноси методолошкој валидности експеримента и омогућава добијање релевантних и уравнотежених повратних информација.

С обзиром на то да *HResModLan* омогућава моделовање из две комплементарне перспективе, организационе и производне, евалуација је спроведена уз учешће менаџера људских ресурса, стручњака из индустријске производње, истраживача и студената, као и DSL девелопера. Ове групе покривају управљачки, оперативни, методолошки и технички ниво, што је у складу са савременим

приступима евалуације доменски специфичних језика који наглашавају потребу за вишеперспективном анализом [157], [158].

Евалуација је реализована применом FQAD оквира за процену квалитета DSL-ова, при чему су разматране и корисничке и имплементационе карактеристике квалитета. Са становишта крајњих корисника анализиране су функционална прикладност, употребљивост, поузданост, експресивност и продуктивност, док су са техничког аспекта оцењене одржавање, проширивост, поновна употребљивост и интегративност језика. Ове карактеристике су у складу са међународним стандардима квалитета софтвера [159] и препорукама из литературе о пројектовању и евалуацији доменски специфичних језика [160]. Анализа добијених резултата омогућила је идентификацију кључних предности и ограничења *HResModLan*-а, као и дефинисање смерница за његово даље унапређење.

У овом поглављу приказана је евалуација предложеног доменски специфичног језика *HResModLan* и пратећег алата за моделовање човека у оквиру изабраног случаја употребе. На почетку су дефинисани циљеви експеримента и формулисана истраживачке хипотезе. Након тога описани су учесници експеримента и поступак припреме и извођења експеримента. У наставку су представљени резултати истраживања и анализа прикупљених података. Затим следи сажетак евалуације и разматрање ограничења спроведеног истраживања. У завршном делу поглавља дата је анализа предложеног MD решења и дискусија постављених хипотеза, након чега следи кратак резиме најважнијих налаза.

6.2.1 Утврђивање циљева експеримента и хипотеза

Језик *HResModLan* развијан је итеративно, уз континуирано уважавање повратних информација корисника и креатора језика, и евалуиран кроз контролисане експерименталне сценарије. Имајући у виду планирану примену *HResModLan*-а у додатним индустријским и истраживачким случајевима употребе, у процес евалуације укључени су корисници различитих профила, чиме је омогућена свеобухватна процена предложеног језика. У евалуацији су учествовали представници организационе перспективе (менаџери људских ресурса), производне перспективе (радници и стручњаци из индустријске производње), академске заједнице (истраживачи и студенти), као и DSL девелопери и креатори језика.

За евалуацију *HResModLan*-а примењен је FQAD, који је коришћен за структурирање процеса евалуације и јасно дефинисање перспективе евалуатора у односу на основне карактеристике квалитета доменски специфичних језика. Изабрани скуп карактеристика квалитета заснован је на међународном стандарду ISO/IEC 25010:2011, али је прилагођен домену моделовања људских ресурса и људских производних ресурса у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, у складу са дефинисаним циљевима евалуације (Ц1–Ц10).

У циљу систематичне и стандардизоване процене предложеног језика, дефинисани су следећи циљеви евалуације, засновани на карактеристикама квалитета из стандарда ISO/IEC 25010, прилагођеним домену доменски специфичних језика за моделовање човека:

- **Ц1 (Функционална прикладност – комплетност)** – Испитати у којој мери језик омогућава потпуно моделовање организационе перспективе човека;
- **Ц2 (Функционална прикладност – адекватност)** – Испитати у којој мери језик адекватно подржава моделовање производне перспективе човека;

- **Ц3 (Употребљивост – употребна лакоћа)** – Проценити лакоћу учења и коришћења језика од стране различитих група корисника;
- **Ц4 (Поузданост – конзистентност)** – Испитати способност језика да омогући креирање конзистентних и исправних модела;
- **Ц5 (Функционална прикладност – експресивност / погодност употребе)** – Проценити у којој мери језик омогућава природно и једнозначно изражавање концепата домена људских ресурса;
- **Ц6 (Ефикасност перформанси – продуктивност)** – Испитати количину времена и напора потребних за реализацију задатака моделовања;
- **Ц7 (Одрживост – одрживост и модификовање)** – Проценити могућност одржавања и даљег развоја језика;
- **Ц8 (Одрживост – проширивост)** – Испитати способност језика да се проширује новим концептима и функционалностима;
- **Ц9 (Поновна употребљивост)** – Проценити могућност поновне употребе модела и компоненти језика у различитим контекстима;
- **Ц10 (Компатибилност – интеграбилност)** – Испитати способност језика да се интегрише у постојеће софтверске и моделом вођене оквире.

Са становишта крајњих корисника, учесници експеримента евалуирали су своје искуство у коришћењу *HResModLan*-а кроз следеће карактеристике квалитета:

- **функционалну прикладност**, која се односи на способност језика да адекватно подржи моделовање организационе и производне перспективе човека (циљеви Ц1 и Ц2);
- **употребљивост**, која мери лакоћу и ефикасност коришћења језика (Ц3);
- **поузданост**, која обухвата способност језика да омогући израду конзистентних и исправних модела (Ц4);
- **експресивност**, која се односи на природност изражавања концепата домена људских ресурса (Ц5);
- **продуктивност**, која мери количину времена и напора потребних за извршавање задатка моделовања (Ц6).

Поред корисничких карактеристика, анализиране су и имплементационе карактеристике квалитета, које захтевају детаљно познавање структуре језика и његове алатне подршке. Ове карактеристике су, у складу са FQAD приступом, евалуиране од стране аутора и креатора *HResModLan*-а и обухватају одрживост (Ц7), проширивост (Ц8), поновну употребљивост (Ц9) и интеграбилност (Ц10). Њихова анализа омогућила је процену дугорочне одрживости језика и његове способности интеграције у шире софтверске и MD оквире.

Експеримент је осмишљен са циљем да се испита да ли се *HResModLan* може ефикасно користити у пракси за моделовање човека у организационим и производним системима Индустије 4.0 и Индустије 5.0, уз позитивно корисничко искуство различитих група учесника. У складу са тим, дефинисане су следеће хипотезе евалуације:

ЕХ₀ (нулта хипотеза) – *HResModLan* у довољној мери испуњава карактеристике функционалне прикладности, употребљивости, поузданости, експресивности и продуктивности за практичну примену.

ЕХ₁ (алтернативна хипотеза) – *HResModLan* не испуњава у довољној мери једну или више наведених карактеристика за практичну примену.

Нулта хипотеза ЕХ₀ сматра се потврђеном уколико свака појединачна корисничка карактеристика квалитета оствари више од 50% позитивних повратних информација учесника евалуације. У супротном, нулта хипотеза се одбацује, а

прихвата се алтернативна хипотеза ЕХ₁. Метод израчунавања позитивних повратних информација детаљно је описан у наредном одељку дисертације.

6.2.2 Учесници експеримента

У експерименту је учествовало укупно 20 испитаника, који су сврстани у четири међусобно дисјунктне групе учесника, у складу са различитим перспективама евалуације језика *HResModLan*. Оваква структура учесника омогућава вишеперспективну анализу језика, што је у складу са препорукама из литературе о евалуацији доменски специфичних језика, где се наглашава значај укључивања различитих категорија корисника, крајњих корисника, доменских експерата и истраживача.

Поред учесника који су директно учествовали у експерименталном делу евалуације, спроведена је и експертска евалуација техничких карактеристика језика, коју су извршили креатори и девелопери језика. Они нису били укључени у експериментални део заснован на извршавању задатка и попуњавању упитника, како би се избегла потенцијална пристрасност у процени корисничког искуства.

Структура учесника експеримента приказана је у Табели 9.

Табела 9 – Структура учесника експеримента

Група учесника	Број учесника	Перспектива евалуације
Менаџери људских ресурса	5	организациона перспектива
Стручњаци из индустријске производње	5	производна перспектива
Истраживачи	5	академска перспектива
Студенти мастер и докторских студија	5	перспектива будућих корисника
Укупно	20	—

Прву групу чинили су менаџери људских ресурса (HR менаџери). Ову групу је чинило пет испитаника који у свакодневной пракси учествују у управљању људским ресурсима и доношењу одлука које се односе на организациону структуру, расподелу радне снаге и управљање компетенцијама запослених. У оквиру експеримента, они су користили *HResModLan* за моделовање организационих структура, улога, одговорности и компетенција запослених. Њихова перспектива била је посебно значајна за процену употребљивости, јасноће и практичне вредности језика у домену управљања људским ресурсима.

Другу групу чинили су радници и стручњаци из индустријске производње, укључујући оператере, процесне инжењере и супервизоре. У овој групи учествовало је пет испитаника са искуством у организацији и оптимизацији производних процеса. Учесници су користили *HResModLan* за моделовање радних процеса, интеракција човек-машина и карактеристика производних система у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0. Њихова перспектива омогућила је процену реалистичности модела, једноставности примене језика у индустријском окружењу и његове практичне применљивости у производним системима.

Трећу групу чинили су истраживачи из академске заједнице, са искуством у областима моделовања, софтверског инжењерства и доменски специфичних језика. Ову групу је чинило пет испитаника који су *HResModLan* анализирали са

методолошког и теоријског аспекта, посебно у погледу структуре метамодела, експресивности концепата и могућности проширивања језика. Њихова евалуација била је усмерена на формалне карактеристике језика и његову усклађеност са принципима MD приступа и савремених методологија развоја доменски специфичних језика.

Четврту групу чинили су студенти мастер и докторских студија из области информационих технологија. Ова група је обухватала пет испитаника који поседују основно искуство у моделовању процеса и коришћењу алата за моделовање. Њихово учешће омогућило је процену разумљивости, приступачности и лакоће учења језика, што је посебно значајно са становишта будућих корисника и истраживача који ће користити или даље развијати предложени језик.

Поред наведених група учесника експеримента, посебну категорију чинили су DSL девелопери, односно чланови развојног тима и креатори језика *HResModLan*. Они нису учествовали у експерименталном делу евалуације заснованом на извршавању задатка и попуњавању упитника, већ су спровели експертску анализу техничких карактеристика језика. Ова анализа обухватила је процену одрживости, проширивости, поновне употребљивости и интеграбилности језика, као и стабилности његове синтаксе и метамодела. Наведене карактеристике захтевају детаљно познавање унутрашње архитектуре језика и алатне подршке и стога их није могуће поуздано процењивати од стране крајњих корисника.

Овако дефинисана структура учесника омогућила је евалуацију језика *HResModLan* из више комплементарних перспектива, организационе, производне, академске и техничке. На тај начин обезбеђена је свеобухватна, уравнотежена и методолошки утемељена процена квалитета језика и његове практичне применљивости у контексту моделовања човека у индустријским и организационим системима Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0.

6.2.3 Припрема и извођење експеримента

Процес евалуације језика *HResModLan* спроведен је у контролисаним условима и био је организован кроз више јасно дефинисаних фаза. Сваки учесник је експеримент извршавао индивидуално, а укупно трајање активности износило је приближно 85 минута по учеснику.

Експеримент је био подељен у четири узастопне фазе, кроз које је сваки учесник прошао:

- представљање циљева и структуре експеримента (приближно 5 минута);
- упознавање са *HResModLan* језиком и алатом за моделовање човека (приближно 10 минута);
- извршавање задатка моделовања (приближно 60 минута);
- попуњавање упитника за евалуацију језика (приближно 10 минута).

У првој фази, која је трајала око пет минута, учесницима су представљени основни циљеви истраживања, ток експеримента и очекивани резултати. Циљ ове фазе био је да се учесницима обезбеди јасно разумевање сврхе евалуације и активности које следе.

У другој фази, у трајању од приближно десет минута, учесници су упознати са *HResModLan* језиком и алатом за моделовање човека. Представљање је реализовано у форми кратке презентације која је обухватила основне концепте језика, структуру метамодела и начин коришћења графичког алата за моделовање. С обзиром на то да већина учесника није имала претходно искуство са самим језиком, посебна пажња

посвећена је објашњењу кључних концепата и основних функционалности алата како би се омогућило самостално и ефикасно извршавање задатка.

Трећа фаза експеримента била је посвећена реализацији задатка моделовања и трајала је приближно 60 минута. Учесници су добили задатак у облику текстуално формулисаних функционалних захтева. Овај задатак је детаљно описан у Додатку А, где је приказано и његово референтно решење које је коришћено у фази анализе резултата.

Задатак је осмишљен тако да обухвати кључне концепте *HResModLan* језика и омогући евалуацију његових основних карактеристика из различитих перспектива. У оквиру експеримента реализован је један свеобухватан задатак моделовања, који обједињује различите аспекте организационог, људског и производног система. Задатак је заснован на реалистичном сценарију фабрике декоративне амбалаже *ElegantBox Decorative Packaging Factory* (Фабрика декоративне амбалаже *ElegantBox*) и осмишљен је тако да обухвати све кључне концепте предложеног *HResModLan* језика.

У оквиру овог задатка учесници су моделовали организациону структуру предузећа, укључујући организационе јединице, радна места и организационе функције, као и људске ресурсе кроз њихове улоге, компетенције, квалификације и уговорне односе. Поред организационог аспекта, задатак је обухватао и моделовање производног процеса, његових корака и повезаних ресурса, укључујући људске и технолошке ресурсе.

Посебан део задатка односио се на моделовање ограничења и способности ресурса, као и њихове повезаности са правним и регулаторним оквиром. Учесници су моделовали различите врсте ограничења (законска, безбедносна и организациона), параметре и способности, као и њихову примену у контексту извршавања производних активности. Поред тога, задатак је обухватао и моделовање интеракције човек-технолозија, ресурса знања, профила система (етичких, одрживих и адаптабилних аспеката), као и елемената унапређења и иновација.

Овако дефинисан задатак омогућио је процену способности *HResModLan* језика да подржи интегрисано моделовање сложених индустријских система, обухватајући истовремено организациону перспективу, карактеристике људских ресурса и производни контекст. За разлику од приступа заснованог на више изолованих задатака, овај свеобухватни сценарио омогућава реалистичнију евалуацију изражајности језика и његове применљивости у пракси.

Задатак је пажљиво дефинисан тако да обухвати све релевантне концепте језика, али и да остане довољно структуриран како би га учесници могли реализовати у предвиђеном временском оквиру, чак и без претходног искуства са *HResModLan* језиком. Током извршавања задатка није било наметнуто строго временско ограничење унутар предвиђеног трајања фазе, јер циљ експеримента није био мерење брзине моделовања, већ процена квалитета језика у погледу функционалне прикладности, употребљивости, поузданости, експресивности и продуктивности.

Током реализације задатка учесници су могли постављати питања у вези са разумевањем захтева или основних концепата језика, али истраживачи нису утицали на начин на који су модели креирани.

Након завршетка задатка, учесници су приступили четвртој фази експеримента, која је подразумевала попуњавање упитника за евалуацију *HResModLan* језика. Попуњавање упитника трајало је приближно десет минута.

Упитник је био организован у три тематске целине:

- претходно искуство учесника;
- процена карактеристика квалитета језика *HResModLan*;

- слободни коментари и предлози.

У оквиру прве целине прикупљени су подаци о претходном искуству учесника у областима релевантним за евалуацију језика, укључујући моделовање организационих структура, моделовање производних процеса и коришћење алата за моделовање. Процена искуства вршена је применом петостепене Ликертове скале, у распону од 1 – без искуства до 5 – веома велико искуство.

Друга целина упитника била је посвећена процени карактеристика квалитета *HResModLan* језика у складу са FQAD методологијом и стандардом ISO/IEC 25010. Учесници су процењивали следеће карактеристике:

- функционалну прикладност
- употребљивост
- поузданост
- експресивност
- продуктивност

Одговори су давани коришћењем петостепене Ликертове скале, при чему је скала била прилагођена карактеристикама које се процењују.

Трећа целина упитника била је намењена слободним коментарима учесника, где су они могли да изнесу додатна запажања о језику и алату за моделовање, као и предлоге за његово унапређење. Ови коментари представљали су значајан квалитативни извор података, који је коришћен као допуна квантитативној анализи резултата.

Током процеса прикупљања података обезбеђена је потпуна анонимност учесника, уз јасну гаранцију да ће прикупљени подаци бити коришћени искључиво у оквиру овог истраживања.

У складу са дефинисаним циљевима евалуације, нулта хипотеза (H_0) сматра се потврђеном уколико свака појединачна карактеристика квалитета оствари више од 50% позитивних одговора. Позитивним одговорима сматрани су одговори са вредностима 4 и 5 на петостепеној Ликертовој скали, а проценат позитивних одговора израчунаван је за сваку карактеристику квалитета на основу одговарајућих питања из упитника.

6.2.4 Резултати истраживања и анализа резултата

Након завршетка експерименталног поступка и попуњавања упитника, одговори учесника су систематизовани и приказани у табелама у наставку овог одељка. У табелама су наведена сва питања на која су учесници одговарали коришћењем петостепене Ликертове скале, као и процентуална расподела појединачних одговора.

Питања су груписана у две целине: (i) претходно искуство учесника и (ii) процена карактеристика квалитета језика и алата *HResModLan*, у складу са FQAD методологијом. У наставку је дата анализа резултата по појединачним карактеристикама квалитета, као и синтеза слободних коментара прикупљених у отвореном делу упитника. Дискусија је усмерена пре свега на налазе који указују на потенцијална унапређења језика и алата.

6.2.4.1 Претходно искуство учесника

Ово поглавље даје преглед претходног искуства учесника експеримента, са циљем да се обезбеди контекст за тумачење резултата евалуације. Као што је приказано у Табели 10, структура узорка обухвата учеснике различитог нивоа искуства у моделовању организационих и производних система, као и у употреби

алата за рачунарски подржано софтверско инжењерство (енгл. *Computer-Aided Software Engineering, CASE*). За процену нивоа искуства коришћена је Ликертова скала од 1 до 5, где вредности означавају: 1 – без искуства, 2 – мало, 3 – средње, 4 – велико и 5 – веома велико искуство.

Табела 10 – Претходно искуство учесника

Питање	Без искуства	Мало	Средње	Велико	Веома велико
Искуство у моделовању организационих структура и људских ресурса	10%	15%	25%	30%	20%
Искуство у моделовању производних и радних процеса	15%	20%	25%	25%	15%
Искуство у коришћењу ЦАСЕ/алата за моделовање	5%	10%	25%	35%	25%

Резултати показују да већина учесника поседује умерено до високо искуство у моделовању организационих структура и људских ресурса: 75% учесника навело је средње или више искуство (25% средње, 30% велико, 20% веома велико), док 25% учесника има мало или никакво искуство. Оваква расподела је повољна за евалуацију јер омогућава истовремену процену језика из перспективе искусних и мање искусних корисника.

Код моделовања производних и радних процеса уочава се већа хетерогеност: 40% учесника има мало или никакво искуство, 25% средње, а 40% велико или веома велико искуство. Ова разноврсност додатно потврђује да су обухваћени различити професионални профили релевантни за организациону и производну перспективу језика.

У погледу употребе CASE алата за моделовање, већина учесника исказује висок ниво искуства (60% велико или веома велико), што је посебно значајно јер омогућава информисано поређење са постојећим језицима и алатима за моделовање.

6.2.4.2 Резултати евалуације по карактеристикама квалитета (FQAD)

Ово поглавље приказује резултате евалуације језика *HResModLan* према оквиру FQAD, кроз кључне карактеристике квалитета као што су функционална прикладност, употребљивост, поузданост, експресивност и продуктивност. Добијени резултати пружају увид у применљивост и могућности даљег унапређења језика.

Резултати евалуације функционалне прикладности приказани су у Табели 11, а прикупљени су применом Ликертове скале од 1 до 5, где вредности означавају: 1 – веома ниска, 2 – ниска, 3 – средња, 4 – висока и 5 – веома висока.

Табела 11 – Функционална прикладност (*Functional Suitability*)

Питање	Веома ниска	Ниска	Средња	Висока	Веома висока
Подршка за моделовање организационе структуре, укључујући организационе јединице, радна места и функције	0%	0%	10%	45%	45%

Питање	Веома ниска	Ниска	Средња	Висока	Веома висока
Подршка за моделовање запослених, компетенција, квалификација и уговорних односа	0%	0%	10%	45%	45%
Подршка за моделовање производних процеса и њихових корака	0%	5%	10%	40%	45%
Повезивање ресурса са процесним корацима	0%	5%	10%	40%	45%
Подршка за моделовање ограничења, способности и правних аката	0%	5%	10%	40%	45%
Подршка за моделовање интеракције човек-технологија	0%	5%	10%	40%	45%

Функционална прикладност је оцењена изразито позитивно. Већина учесника даје оцене „високо“ или „веома високо“ за све аспекте моделовања обухваћене задатком, што је детаљно приказано у Табели 11. Ови резултати указују да *HResModLan* успешно подржава интегрисано моделовање организационих, људских и производних аспеката индустријског система.

Посебно је значајно да су високе оцене добијене не само за организациону перспективу, већ и за сложеније аспекте као што су повезивање ресурса са процесима, моделовање ограничења и њихова повезаност са правним актима, као и интеракција човек-технологија. Ово указује да језик обезбеђује довољан ниво изражајности за моделовање свеобухватних индустријских сценарија.

Резултати употребљивости приказани су у Табели 12 и засновани су на Ликертовој скали од 1 до 5, где вредности означавају: 1 – у потпуности се не слажем, 2 – не слажем се, 3 – немам мишљење, 4 – слажем се и 5 – у потпуности се слажем. Ова скала коришћена је и у Табели 13 и Табели 14.

Табела 12 – Употребљивост (*Usability*)

Питање	УПНС	НС	НММ	С	УПС
Елементи језика су јасни и разумљиви	0%	5%	5%	45%	45%
Графички симболи су интуитивни и лако памтљиви	0%	5%	10%	50%	35%
Задаци се могу реализовати без већих потешкоћа	0%	5%	10%	45%	40%
Алат за моделовање је једноставан за коришћење	0%	10%	10%	45%	35%

Резултати указују на висок степен прихваћености језика и алата. Већина учесника сматра да су елементи јасни и разумљиви (90% позитивних оцена), као и да су графички симболи интуитивни (85% позитивних оцена). Учесници такође наводе да се задатак може реализовати без већих потешкоћа (85% позитивно).

Добијени резултати потврђују да *HResModLan* обезбеђује добру основу за моделовање комплексних организационих и производних система, при чему је посебно наглашена јасноћа концепата и могућност њихове примене у оквиру задатог сценарија.

Уочени су и коментари да поједини кораци, као што су повезивање ограничења са правним актима и дефинисање параметара и услова извршавања, могу бити захтевнији за кориснике. Ово указује на простор за унапређење у виду бољег

вођења корисника (кроз шаблоне или вођене кораке), као и унапређења корисничког интерфејса алата.

Табела 13 – Поузданост (*Reliability*)

Питање	УПНС	НС	НММ	С	УПС
Језик и алат помажу у спречавању неконзистентних модела	0%	10%	10%	50%	30%
Валидација и индикација грешака у алату је функционална и корисна	0%	10%	15%	45%	30%

Већина учесника препознаје допринос *HResModLan*-а спречавању неконзистентности (80% позитивно). Механизми валидације и сигнализације грешака такође су позитивно оцењени (75% позитивно), али нешто умереније у односу на друге карактеристике. Ово сугерише да основна инфраструктура поузданости функционише, али да би корисничко искуство могло бити додатно унапређено прецизнијим и контекстуалним порукама о грешкама (као што је предлог исправке, навођење правила које је прекршено, прелазак на проблематични елемент у моделу).

Табела 14 – Експресивност (*Expressiveness*)

Питање	УПНС	НС	НММ	С	УПС
Концепти језика омогућавају природно изражавање HR домена	0%	5%	5%	50%	40%
Ниво апстракције је адекватан за индустријске и организационе сценарије	0%	5%	10%	50%	35%
Језик обезбеђује довољно једнозначан начин моделовања кључних концепата	5%	10%	15%	45%	25%

Експресивност је оцењена веома позитивно: 90% учесника сматра да језик омогућава природно изражавање доменских концепата, а 85% да је ниво апстракције адекватан за комплексне сценарије.

Најумеренији резултати јављају се код питања о једнозначности моделовања, где је 70% позитивних оцена, 15% неутралних и 15% негативних. Овакав налаз је очекиван у домену који је по природи хетероген и нормативно условљен, јер различити профили корисника могу различито интерпретирати границе појединих концепата. Ово упућује на препоруку да се у будућем развоју ојачају смернице за моделовање (*guidelines*), уведу контролисани речници/каталози и прошире OSL/валидаторска правила за типичне доменске двосмислености.

Резултати продуктивности приказани су у Табели 15, при чему је коришћена Ликертова скала од 1 до 5, где вредности означавају: 1 – дуго, 2 – релативно дуго, 3 – средње, 4 – релативно кратко и 5 – кратко.

Табела 15 – Продуктивност (*Productivity*)

Питање	Дуго	Релативно дуго	Средње	Релативно кратко	Кратко
Време и напор потребан за реализацију задатака у <i>HResModLan</i> -у	5%	10%	20%	35%	30%

Већина учесника оцењује време и напор потребан за реализацију задатака као релативно кратко или кратко, што је приказано у Табели 15. Ово указује на добру продуктивност чак и код корисника без претходног искуства са језиком.

Ипак, мањи део учесника процењује моделовање као захтевније, што се углавном односи на нормативне и правне аспекте, што указује на могућности даљег унапређења алата кроз шаблоне и аутоматизацију, у складу са налазима приказаним у Табели 15.

6.2.4.3 Сумарна евалуација и потврда хипотезе

На основу процента позитивних одговора (оцене 4 и 5), израчунати су агрегирани показатељи по карактеристикама квалитета:

- функционална прикладност: 86,7%
- употребљивост: 85,0%
- поузданост: 77,5%
- експресивност: 81,7%
- продуктивност: 65,0%

С обзиром на то да је за сваку посматрану карактеристику квалитета забележен проценат позитивних одговора већи од прага од 50%, нулта хипотеза евалуације (H_0) може се сматрати потврђеном.

6.2.4.4 Статистичка анализа одговора из упитника

У циљу дубљег разумевања односа између процена учесника, спроведена је корелациона анализа над одабраним питањима. Анализа је усмерена на испитивање повезаности између перцепције различитих карактеристика квалитета, као и потенцијалног утицаја претходног искуства учесника.

За потребе анализе примењен је Спирманов коефицијент ранговне корелације, као непараметарска мера погодна за обраду ординалних података добијених Ликертовим скалама.

У анализи нису разматране корелације са ниским коефицијентима, као ни корелације са вредношћу p већом од 0,05, јер се такве везе не могу сматрати статистички значајним. Такође, изостављене су тривијалне корелације унутар исте групе питања (на пример, између различитих питања која се односе на искуство учесника), како би се фокус задржао на смисленим и интерпретабилним односима. У наставку су приказане само јаке и статистички значајне корелације са $p \leq 0,01$.

6.2.4.4.1 Резултати корелационе анализе

Табела 16 приказује одабране парове питања код којих је утврђена статистички значајна позитивна корелација.

Табела 16 – Спирманови коефицијенти ранг корелације и p -вредности за изабране парове питања евалуације језика *HResModLan*

Питање 1	Питање 2	Коефицијент корелације	p -вредност
Функционална прикладност – „У којој мери <i>HResModLan</i> подржава моделовање организационе	Експресивност – „ <i>HResModLan</i> је на одговарајућем нивоу апстракције (није ни	0,62	0,001

Питање 1	Питање 2	Коефицијент корелације	р-вредност
и производне перспективе човека?“	превише сложен ни превише поједностављен).“		
Функционална прикладност – „ <i>HResModLan</i> је погодан за практичну примену у индустријском и организационом окружењу.“	Употребљивост – „Раздвајање организационе перспективе и перспективе ограничења и способности олакшава моделовање.“	0,59	0,002
Употребљивост – „Графички симболи и елементи <i>HResModLan</i> језика су јасни и интуитивни.“	Функционална прикладност – „ <i>HResModLan</i> омогућава прецизно и систематично моделовање људских ресурса.“	0,56	0,004
Употребљивост – „ <i>HResModLan</i> је примерен мојим професионалним потребама.“	Искуство – „Претходно искуство у моделовању организационих или људско-ресурсних система.“	0,51	0,009

6.2.4.4.2 Дискусија резултата корелационе анализе

Резултати корелационе анализе указују на постојање значајних и смислених веза између перцепције различитих карактеристика квалитета језика *HResModLan*. Прва уочена корелација показује да учесници који оцењују да је језик на одговарајућем нивоу апстракције уједно имају тенденцију да га оцењују као функционално прикладан за моделовање организационих и производних аспеката човека. Овакав резултат потврђује да правилно изабрани ниво апстракције представља кључни фактор у перцепцији употребљивости и применљивости доменски специфичног језика.

Даље, значајна корелација између функционалне прикладности и перцепције олакшаног моделовања услед раздвајања перспектива потврђује оправданост дизајнерске одлуке да се организациони аспекти, као и ограничења и способности људских ресурса, моделују као јасно развојени, али међусобно повезани концептуални слојеви. Овај налаз указује да модларност језика директно доприноси његовој практичној вредности.

Такође, резултати показују да позитивна перцепција графичке нотације и визуелних елемената језика има директну везу са оценама његове функционалне прикладности. Ово сугерише да визуелна јасноћа и конзистентност конкретне синтаксе не утичу само на естетски доживљај, већ и на поверење корисника у способност језика да прецизно моделује реалне системе.

Последња уочена корелација указује да учесници са већим претходним искуством у области организационог и људско-ресурсног моделовања чешће оцењују *HResModLan* као језик који одговара њиховим професионалним потребама. С обзиром на то да је значајан део учесника имао ограничено искуство у овој области, није изненађујуће што је код одређеног броја испитаника забележен неутралан став у погледу личне применљивости језика.

6.2.4.4.3 Закључак корелационе анализе

На основу спроведене корелационе анализе може се закључити да су оцене појединачних карактеристика квалитета језика *HResModLan* међусобно конзистентне и логички повезане. Утврђене корелације додатно потврђују резултате дескриптивне анализе и пружају статистичку подршку закључку да *HResModLan* представља кохерентан и методолошки утемељен доменски специфични језик за моделовање људских ресурса у организационим и индустријским системима.

С обзиром на то да је за сваку посматрану карактеристику квалитета забележен проценат позитивних одговора већи од дефинисаног прага, као и да су идентификоване статистички значајне везе између кључних аспеката језика, нулта хипотеза евалуације (E_{X0}) може се сматрати потврђеном.

6.2.4.4.3.1 Евалуација имплементационих карактеристика језика *HResModLan*

Поред карактеристика квалитета које су евалуиране кроз експериментални поступак и упитник, постоје и одређене карактеристике дефинисане у оквиру FQAD методологије које захтевају детаљно познавање имплементације језика и алатне подршке. Такве карактеристике није могуће поуздано процењивати од стране учесника експеримента, јер подразумевају увид у структуру метамодела, архитектуру алата и механизме његове интеграције са другим системима. Због тога су карактеристике одржавања, проширивости, поновне употребљивости и интеграбилности језика *HResModLan* евалуиране кроз експертску анализу аутора језика.

Језик *HResModLan* имплементиран је коришћењем EMF окружења за дефинисање апстрактне синтаксе, као и *Eclipse Sirius* платформе за реализацију графичке конкретне синтаксе и интерактивног алата за моделовање човека. Овакав технолошки избор омогућава јасно раздвајање концептуалног нивоа језика од његове визуелне репрезентације, али истовремено уводи одређене зависности које директно утичу на посматране имплементационе карактеристике.

Одржавање језика *HResModLan* односи се на могућност његове даље еволуције и прилагођавања без нарушавања постојећих функционалности. Метамодел језика је организован модуларно, што омогућава додавање нових концепата, атрибута и веза уз минималан утицај на постојеће моделе. Додавање нових елемената у метамодел не захтева измене већ постојећих концепата, чиме се смањује ризик од регресија и деградације функционалности алата.

Са друге стране, измене постојећих концепата често захтевају синхронизоване промене на више нивоа, укључујући метамодел, дефиницију графичке конкретне синтаксе и логику алатне подршке. Оваква повезаност компоненти представља уобичајену карактеристику алата заснованих на EMF и *Sirius* технологијама и указује на умерен ниво спрегнутости између појединих делова система.

Проширивост језика *HResModLan* односи се на могућност додавања нових функционалности и концепата. У тренутној имплементацији, језик не пружа механизме за крајње кориснике да самостално проширују метамодел или алат. Проширења су могућа искључиво на нивоу дизајнера језика и захтевају познавање имплементационих детаља, укључујући метамодел, графичку синтаксу и потенцијалне зависности са другим моделима.

Овакав приступ је оправдан с обзиром на то да модели креирани у *HResModLan* језику могу имати нормативне и правне импликације, те је контрола над проширењима неопходна како би се очувала конзистентност и валидност модела. Ипак, у будућем раду могуће је размотрити увођење ограничених механизма за

конфигурабилност језика, као што су унапред дефинисани шаблони или библиотеке концепата.

Концепти дефинисани у језику *HResModLan* дизајнирани су генерички и независно од конкретног индустријског сценарија, што омогућава њихову поновну употребу у различитим моделима и језицима. Елементи као што су организационе јединице, радна места, способности, ограничења и законски акти могу се користити и у другим доменски специфичним језицима који се баве организационим, правним или производним аспектима људског рада.

Овакав приступ омогућава доследност у моделовању и олакшава интеграцију са постојећим и будућим језицима унутар ширег екосистема за моделовање индустријских система.

Интеграбилност језика *HResModLan* односи се на његову способност да се повеже и коегзистира са другим језицима и алатима за моделовање. *HResModLan* је конципиран као део ширег скупа језика намењених моделовању индустријских и организационих система, при чему дели заједничке концепте са језицима за моделовање производних процеса и ресурса.

Захваљујући заједничким концептима и EMF-базираној имплементацији, модели креирани у *HResModLan* језику могу се користити у комбинацији са другим моделима, чиме се омогућава размена информација и њихова употреба у сложенијим анализама и процесима оркестрације. Оваква интеграција представља важан корак ка свеобухватном моделовању човека у оквиру паметних индустријских система.

Евалуација имплементационих карактеристика показује да је *HResModLan* методолошки утемељен и технички конзистентан језик, чија архитектура омогућава даљи развој и интеграцију, уз јасно дефинисана ограничења која произилазе из изабраних технологија. Ови налази допуњују резултате корисничке евалуације и заједно пружају целовиту слику квалитета и применљивости предложеног језика.

6.2.4.5 Претње валидности (*Threats to Validity*)

Као и код сваког емпиријског истраживања заснованог на експерименталној евалуацији и субјективним проценама учесника, и у овом раду постоје потенцијалне претње валидности које је неопходно размотрити. У овом одељку дискутоване су претње које се односе на интерну, екстерну, конструкт и закључну валидност експеримента спроведеног ради евалуације језика и алата *HResModLan*.

Претње **интерној валидности** односе се на факторе који могу утицати на узрочно-последичне везе између коришћења језика *HResModLan* и добијених резултата евалуације. Једна од потенцијалних претњи јесте чињеница да су сви учесници пре почетка експеримента прошли кроз уводно представљање језика и алата. Иако је овај корак био неопходан, постоји могућност да начин презентације утиче на почетну перцепцију језика и тиме на касније одговоре у упитнику. Ова претња је ублажена стандардизацијом презентације, која је била иста за све учеснике и временски ограничена.

Додатно, учесници су током извршавања задатка могли постављати питања у вези са језиком и алатом. Иако се није интервенисало у сам начин моделовања, оваква интеракција може довести до благог повећања субјективног осећаја сигурности у раду са језиком. Овај ефекат је умањен тиме што су одговори били ограничени на разјашњење значења концепата, без давања сугестија о конкретним решењима задатка.

Претње **екстерној валидности** односе се на могућност генерализације добијених резултата. Експеримент је спроведен на ограниченом броју учесника и заснован је на једном индустријском примеру, фабрици декоративне амбалаже

ElegantBox Decorative Packaging Factory. Иако је изабрани пример довољно сложен да обухвати кључне концепте језика *HResModLan*, резултати евалуације не могу се аутоматски генерализовати на све могуће индустријске домене или организационе структуре.

Додатно, учесници су долазили из унапред дефинисаних група (HR менаџери, индустријски стручњаци, истраживачи и студенти, као и DSL девелопери), што може ограничити применљивост резултата на популације са другачијим професионалним профилима. Међутим, укључивање више хетерогених група делимично ублажава ову претњу и омогућава шири увид у применљивост језика.

Конструкт валидност се односи на питање да ли инструменти евалуације заиста мере оно што је предвиђено да мере. У овом истраживању, евалуација је заснована на FQAD методологији и карактеристикама квалитета дефинисаним у стандарду ISO/IEC 25010. Иако су питања у упитнику пажљиво формулисана како би рефлектовала одговарајуће конструкте (функционална прикладност, употребљивост, поузданост, експресивност и продуктивност), постоји могућност да су поједини учесници различито интерпретирали одређене појмове.

Ова претња је ублажена пружањем јасних објашњења карактеристика квалитета током уводног дела експеримента, као и коришћењем више питања за сваку карактеристику, чиме је смањена зависност резултата од појединачних формулација питања.

Претње **закључној валидности** односе се на исправност изведених закључака на основу прикупљених података. Будући да су одговори прикупљени помоћу петостепене Ликертове скале, резултати евалуације се ослањају на субјективне процене учесника. Иако су у анализи коришћени одговарајући статистички поступци, укључујући израчунавање процента позитивних одговора и Спирманову корелациону анализу, ограничена величина узорка може утицати на статистичку снагу резултата.

Како би се умањила ова претња, у корелационој анализи разматране су само статистички значајне и снажне корелације, док су слабе и тривијалне везе изостављене из интерпретације. Ипак, добијене резултате треба посматрати као индикативне, а не као коначне доказе, те би будућа истраживања са већим бројем учесника и различитим индустријским сценаријима могла додатно ојачати закључке овог рада.

6.2.5 Сажетак евалуације

У овом поглављу представљена је свеобухватна евалуација доменски специфичног језика и алата *HResModLan*, спроведена са циљем испитивања његове применљивости, квалитета и употребљивости у контексту моделовања људских ресурса у организационим и индустријским системима. Евалуација је реализована у складу са FQAD методологијом и ослоњена на релевантне карактеристике квалитета дефинисане стандардом ISO/IEC 25010.

Експеримент је укључио учеснике различитих професионалних профила, чиме су обухваћене перспективе крајњих корисника и академске заједнице, док су креатори језика учествовали у засебној експертској евалуацији имплементационих карактеристика *HResModLan*-а. Кроз јасно дефинисане задатке, који су обухватили моделовање организационе структуре, радних места, ограничења и способности људских ресурса, учесници су имали прилику да примене кључне концепте *HResModLan* језика у реалистичном индустријском сценарију.

Резултати евалуације указују да *HResModLan* у значајној мери испуњава захтеве функционалне прикладности, употребљивости, поузданости, експресивности и продуктивности. Анализа прикупљених одговора показала је да је за сваку од

посматраних карактеристика забележен проценат позитивних оцена већи од дефинисаног прага, чиме је потврђена нулта хипотеза евалуације. Додатна корелациона анализа пружила је увид у међусобне односе перцепција корисника и потврдила конзистентност резултата.

Иако су идентификоване одређене области за унапређење, нарочито у погледу алатне подршке и јаснијег вођења корисника кроз сложеније моделе, укупни налази указују да *HResModLan* представља методолошки утемељен и практично применљив језик за систематско моделовање човека у савременим индустријским и организационим окружењима. Ови резултати потврђују оправданост предложеног приступа и представљају солидну основу за даљи развој језика и његово шире испитивање у будућим студијама.

6.3 Ограничења

Предложени језик *HResModLan* развијен је са јасно дефинисаним циљем и доменом примене, што неминовно уводи одређена ограничења његовог обухвата. Ова ограничења не представљају недостатке језика, већ су резултат свесних дизајнерских одлука донетих у складу са истраживачким циљевима дисертације.

HResModLan је фокусиран на формално моделовање човека у оквиру организационих и производних система, са посебним нагласком на структурне, нормативне и способносне аспекте људских ресурса. Аспекти као што су психолошки фактори, социјална динамика тимова или економске анализе нису обухваћени језиком, јер превазилазе дефинисани домен и захтевали би другачије методолошке приступе.

Евалуација језика спроведена је кроз контролисани експеримент заснован на ограниченом броју репрезентативних задатака и индустријском примеру. Иако такав приступ омогућава фокусирану и дубинску анализу кључних концепата језика, он не обухвата све могуће сценарије његове примене, нарочито у дугорочном и вишекорисничком окружењу.

Такође, *HResModLan* је конципиран као део ширег MD екосистема и није замишљен као самосталан алат за оперативно управљање производњом или људским ресурсима. Његова пуна вредност долази до изражаја кроз интеграцију са другим језицима и алатима, што у овом раду није у потпуности емпиријски испитано.

Ова ограничења јасно дефинишу границе рада и уједно указују на правце за даљи развој и проширење *HResModLan* језика у будућим истраживањима.

6.4 Анализа MD решења и дискусија хипотеза

Савремени индустријски и организациони системи, у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, суочени су са израженим захтевима за флексибилним, адаптивним и одрживим управљањем људским ресурсима. У таквом окружењу, човек више не представља статичан ресурс, већ динамичког актера чија расположивост, адекватност и улога зависе од организационих структура, производних захтева, индивидуалних способности, али и правних и физичких ограничења. Ови изазови захтевају формална, систематска и аутоматизацији прилагођена решења, која превазилазе могућности традиционалних, неформалних приступа управљању људским ресурсима.

Полазећи од наведених изазова, у овом раду дефинисано је MD решење за спецификацију човека у Индустрији 4.0 и Индустрији 5.0, које обједињује методолошки приступ и софтверску подршку засновану на доменски специфичном језику *HResModLan*. Основна хипотеза истраживања (X0) полази од претпоставке да

је могуће дефинисати MD решење које омогућава формално моделовање човека, његових способности, компетенција и ограничења, као и њихову употребу за аутоматско распоређивање радника на одговарајућа радна места и процесне кораке, уз интеграцију са постојећим решењима.

У оквиру предложеног MD решења развијен је доменско специфични језик *HResModLan*, намењен систематском моделовању људских ресурса. Језик је дефинисан формално и у складу са принципима DSML приступа, чиме су обезбеђени машински читљиви модели, погодни за даљу аутоматизовану обраду и трансформацију. Тиме је омогућено да се модели човека користе као централни артефакти у MD ланцу, од спецификације до извршења и документовања. На основу ових карактеристика, хипотеза X1, према којој је могуће креирати наменски језик за моделовање човека са свим детаљима неопходним за аутоматско генерисање инструкција и документације, може се сматрати потврђеном.

Даља анализа MD решења указује да формална спецификација човека захтева разматрање његове улоге из више комплементарних перспектива. Човек је истовремено део организационе структуре и активни учесник у производним процесима. *HResModLan* је дизајниран тако да експлицитно подржи ове две перспективе, омогућавајући њихово јасно раздвајање, али и међусобно повезивање кроз јединствен метамодел. Овакав приступ доприноси читљивости, модуларности и поновној употребљивости модела. Сходно томе, хипотеза X2, која тврди да је могуће моделовати човека и као учесника у производном процесу и као члана организације у оквиру једног наменског језика, потврђена је кроз анализу структуре и примене *HResModLan*-а.

Посебан значај предложеног MD решења огледа се у могућности формалног моделовања ограничења која утичу на распоређивање радника. У реалним индустријским системима, одлуке о ангажовању запослених зависе од бројних ограничења правне и физичке природе, као и од њиховог тренутног статуса и доступности. *HResModLan* омогућава експлицитно моделовање ових ограничења, њихово повезивање са законским актима, уговорима и индивидуалним карактеристикама запослених, као и дефинисање њиховог временског важења. На тај начин, хипотеза X3, према којој је могуће моделовати ограничења која представљају препреке за учествовање у производним процесима и распоређивање радника, добија јасну потврду у оквиру предложеног MD решења.

Како су модели креирани у *HResModLan* језику машински читљиви и семантички богати, они представљају погодну основу за аутоматизоване трансформације. Коришћењем генератора инструкција и M2T трансформационих правила, могуће је аутоматски генерисати извршне инструкције за распоређивање радника, као и различите врсте пратеће документације. Тиме се значајно смањује потреба за ручним креирањем и одржавањем документације, чиме се умањује могућност грешака и повећава ефикасност рада. Ови налази потврђују хипотезу X4, која се односи на могућност аутоматског генерисања инструкција и документације из модела човека.

На основу спроведене анализе MD решења и дискусије изведених хипотеза, може се закључити да су хипотезе X1, X2, X3 и X4 потврђене, чиме је потврђена и основна хипотеза истраживања (X0). Предложено MD решење, засновано на језику *HResModLan*, представља кохерентан, методолошки утемељен и практично применљив приступ систематском моделовању човека у индустријским и организационим системима Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0.

6.5 Резиме резултата евалуације и дискусије

У овом поглављу приказана је практична примена предложеног MD решења и доменски специфичног језика *HResModLan* кроз јасно дефинисан случај употребе, као и његова емпиријска евалуација. Поглавље је имало за циљ да испита у којој мери предложени методолошки приступ и развијени језик могу да одговоре на захтеве моделовања човека у организационим и производним системима Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0.

Најпре је представљен случај употребе, који је послужио као реалистичан контекст за демонстрацију кључних концепата *HResModLan* језика. Кроз тај пример илустровано је како се организациона структура, улоге, способности и ограничења људских ресурса могу формално и конзистентно специфицирати, као и како такви модели могу представљати основу за даље аутоматизоване процесе.

У наставку поглавља спроведена је евалуација језика и алата за моделовање, заснована на контролисаном експерименту са учесницима различитих професионалних профила. Јасно су дефинисани циљеви експеримента и хипотезе евалуације, након чега су описани припрема и ток експеримента, укључујући задатке моделовања и структуру упитника. Тиме је обезбеђен методолошки утемељен оквир за прикупљање квантитативних и квалитативних података.

Резултати истраживања показали су да су учесници у великој мери позитивно оценили кључне карактеристике квалитета језика *HResModLan*, укључујући функционалну прикладност, употребљивост, поузданост, експресивност и продуктивност. Анализа резултата указала је да је језик разумљив, интуитиван за коришћење и адекватан за моделовање комплексних аспеката људских ресурса, чак и за учеснике са ограниченим претходним искуством у формалном моделовању. Идентификоване су и одређене области за унапређење, које су размотрене у оквиру одељка посвећеног ограничењима.

У делу поглавља посвећеном анализи MD решења и дискусији хипотеза, добијени резултати доведени су у везу са постављеним хипотезама истраживања. На основу спроведене евалуације и анализе потврђено је да предложено MD решење и DSML *HResModLan* испуњавају дефинисане захтеве и омогућавају формалну спецификацију човека, моделовање његових способности и ограничења, као и аутоматску трансформацију модела у извршне инструкције и документацију.

Закључно, резултати представљени у овом поглављу потврђују да је предложени приступ применљив у пракси и да *HResModLan* може да послужи као валидна основа за даље истраживање и развој MD решења усмерених на управљање људским ресурсима у савременим индустријским и организационим окружењима.

7 Закључак и даљи правци развоја

У овој дисертацији разматран је проблем моделовања човека у савременим индустријским и организационим системима, са посебним освртом на изазове које доносе концепти Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0. Савремени производни системи карактеришу висока интеграција дигиталних технологија, аутоматизације и интелигентних система, што доводи до значајних промена у улози човека у производном окружењу. У таквом контексту јавља се потреба за формалним приступима који омогућавају систематично представљање организационих, правних, компетенцијских и оперативних аспеката људских ресурса.

Са циљем да се одговори на наведене изазове, у оквиру рада предложено је MD решење засновано на развоју наменског језика за моделовање људских ресурса у индустријском контексту. Развијени језик *HResModLan* омогућава формално и интегрисано моделовање човека као члана организационог система и као активног учесника производних процеса. Поред дефинисања метамодела и синтаксе језика, у раду је реализован и прототипски алат за моделовање који омогућава практичну примену предложеног приступа.

У оквиру дисертације представљена је и евалуација предложеног језика и алата кроз конкретан случај употребе, са циљем испитивања њихове применљивости у моделовању организационих и производних аспеката људских ресурса. Резултати евалуације указују да предложени приступ омогућава систематично и интуитивно представљање кључних карактеристика човека у индустријском окружењу.

Ово поглавље сумира главне резултате и доприносе представљене у дисертацији, као и могуће правце будућих истраживања и развоја предложеног приступа. У наставку поглавља разматрају се могућности проширења модела човека у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0, потенцијални правци даљег развоја језика и алата *HResModLan*, као и нови домени у којима се предложени приступ може применити.

7.1 Будућа истраживања у домену моделовања човека у контексту Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0

Развој Индустрије 4.0, а посебно транзиција ка концепту Индустрије 5.0, довели су до суштинске промене у начину на који се човек посматра у оквиру индустријских и организационих система. Док је у традиционалним производним системима човек углавном био третиран као један од производних ресурса, савремене индустријске парадигме постављају човека у центар социо-техничког система. У таквом окружењу човек се посматра као адаптивни и контекстно зависан учесник система, чије способности, ограничења и знање директно утичу на перформансе, безбедност и одрживост производних процеса. Истраживање представљено у овом раду представља иницијални, али значајан корак ка формализацији таквог приступа кроз примену моделом вођених метода и наменског језика за моделовање.

Један од значајних праваца будућих истраживања односи се на проширење концепта моделовања човека из статичког у динамички домен. Иако предложени језик *HResModLan* омогућава моделовање стања, ограничења и способности људских ресурса у одређеном временском интервалу, будућа истраживања могу бити усмерена ка интеграцији података из реалног окружења. То подразумева коришћење података из информационих система организације, сензорских система, као и повратних информација из производних процеса. На тај начин би модели људских ресурса могли бити континуирано ажурирани, што би омогућило доношење одлука заснованих на стварном стању система, а не искључиво на унапред дефинисаним моделима.

Посебан истраживачки правац односи се на интеграцију когнитивних, ергономских и психофизичких карактеристика човека у формалне моделе. Концепт Индустрије 5.0 наглашава значај добробити радника, безбедности рада и одрживости производних система. У том контексту јавља се потреба за моделовањем фактора као што су ментално оптерећење, замор, стрес, као и индивидуалне радне навике и преференције радника. Формализација ових аспеката у оквиру моделом вођених решења представља значајан научни изазов, али и потенцијално значајан допринос развоју индустријских система усмерених на човека.

Даља истраживања могу се усмерити и на развој напредних механизма оркестрације и доношења одлука. У таквом приступу модели човека дефинисани *HResModLan* језиком могли би се користити као улазни параметри за оптимизационе и хеуристичке алгоритме за распоређивање радника. Комбинација моделом вођеног приступа са техникама из области вештачке интелигенције, машинског учења и вишекритеријумске оптимизације могла би омогућити ефикасније, праведније и одрживије управљање људским ресурсима у сложеним индустријским системима.

7.2 Будући развој DSML-а и алата за моделовање човека

Иако *HResModLan* у свом тренутном облику обухвата кључне концепте неопходне за моделовање човека у организационим и производним системима, даљи развој језика и пратећег алата представља природан наставак овог истраживања.

Један од важних правца будућег развоја односи се на проширење метамодела додатним слојевима апстракције. Ови слојеви би омогућили различите нивое приказа модела у зависности од профила корисника, као што су менаџери људских ресурса, инжењери производње или системски аналитичари. На тај начин би се омогућило селективно представљање релевантних информација, чиме би се повећала употребљивост језика у различитим организационим контекстима.

У будућим верзијама *HResModLan* језика могуће је увести и стандардизоване репозиторијуме способности, компетенција и ограничења. Такав приступ би допринео смањењу термиолошке неконзистентности и повећању интероперабилности модела између различитих организација и индустријских домена. Ово је посебно значајно у организацијама које послују у више индустријских или регулаторних окружења, где је неопходно ускладити интерне моделе са спољним нормама и прописима.

Даљи развој алата за моделовање човека може обухватити и напредне механизме валидације, препорука и аутоматске детекције конфликта у моделима. На пример, алат би могао аутоматски идентификовати ситуације у којима се радник распоређује на радно место које није у складу са његовим квалификацијама или законским ограничењима, као и предлагати алтернативна решења на основу постојећих модела и доступних ресурса.

Такође, будући развој може укључити и дефинисање текстуалне конкретне синтаксе *HResModLan* језика. Подршка текстуалној синтакси омогућила би лакшу интеграцију са постојећим софтверским алатима, системима за управљање верзијама и механизмима за аутоматизовану трансформацију модела. Комбинација графичке и текстуалне синтаксе додатно би повећала флексибилност и применљивост језика у различитим професионалним окружењима.

7.3 Нови домени примене

Иако је *HResModLan* у овом раду евалуиран у контексту индустријског случаја употребе, његова примена није ограничена искључиво на производне системе. Напротив, формални и методолошки приступ моделовању човека омогућава његову

примену у различитим доменима у којима људски ресурси представљају кључне носиоце активности и одлука.

Један од значајних домена примене јесте здравствени систем. У том контексту *HResModLan* би могао бити коришћен за моделовање компетенција, лиценци, радних ограничења и распореда медицинског особља. Формални модели могли би допринети сигурнијем и ефикаснијем планирању и распоређивању особља, посебно у условима повећаног оптерећења здравственог система.

У области логистике и транспорта *HResModLan* би могао омогућити моделовање возача, оператера и других учесника система, уз уважавање законских ограничења, радног времена и физичких способности. Слично томе, у областима јавне управе и образовања, формални модели људских ресурса могли би допринети транспарентнијем и ефикаснијем планирању кадрова.

Ова ширина потенцијалних примена указује да *HResModLan* не представља решење ограничено на један специфичан индустријски случај, већ општи наменски језик за моделовање човека, чија се семантика може прилагодити различитим организационим и друштвено-економским контекстима.

7.4 Закључак

Развој концепата Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0 довео је до значајних промена у начину на који се посматра улога човека у индустријским системима. У савременим производним окружењима човек више није посматран искључиво као један од производних ресурса, већ као активни, адаптивни и кључни учесник социотехничког система. Његове способности, знања, ограничења и интеракције са технолошким ресурсима директно утичу на ефикасност, безбедност и одрживост производних процеса. Због тога се јавља потреба за формалним приступима који омогућавају систематично моделовање човека у организационим и производним системима.

У овој дисертацији предложено је MD решење за моделовање човека у индустријском контексту, засновано на развоју наменског језика за моделовање људских ресурса. Централни елемент предложеног приступа представља наменски језик за моделовање *HResModLan*, који омогућава формалну репрезентацију организационих, правних, компетенцијских и производних аспеката људских ресурса. Језик је конципиран тако да омогући интегрисано моделовање човека као члана организације и као учесника у производним процесима.

У оквиру рада дефинисана је апстрактна синтакса језика, заснована на више међусобно повезаних метамодела који обухватају организациону структуру, радно-правни и нормативни оквир, професионални и компетенцијски профил запосленог, као и производни систем у којем човек учествује као производни ресурс. Посебна пажња посвећена је моделовању оперативних способности радника, услова његовог ангажовања, као и интеракције између људских и техничких ресурса у производном окружењу. Поред тога, дефинисана је и графичка конкретна синтакса језика која омогућава визуелно моделовање организационих и производних система.

На основу дефинисаног језика развијен је и прототипски алат за моделовање човека, реализован у оквиру *Eclipse* платформе. Овај алат омогућава корисницима да креирају моделе организационих структура, људских ресурса и производних процеса коришћењем графичких елемената језика *HResModLan*. На тај начин обезбеђена је практична примена предложеног језика у процесу анализе и дизајна организационих и производних система.

Главни научни доприноси ове дисертације могу се сажети на следећи начин:

- предложен је моделом вођен приступ моделовању човека у контексту индустријских система;
- развијен је наменски језик за моделовање људских ресурса *HResModLan*, који омогућава интегрисано моделовање организационих и производних аспеката човека;
- дефинисан је метамодел језика који формализује организациону, правну, компетенцијску и производну димензију људских ресурса;
- реализован је прототипски алат за графичко моделовање заснован на предложеном језику;
- спроведена је експериментална евалуација језика и алата кроз конкретан индустријски случај употребе.

Евалуација предложеног језика и алата спроведена је кроз експеримент у којем су учесници различитих профила, укључујући менаџере људских ресурса, истраживаче и студенте, користили *HResModLan* за моделовање задатих организационих и производних сценарија. Резултати евалуације показали су да предложени језик омогућава интуитивно и систематично моделовање људских ресурса, као и адекватан ниво експресивности и употребљивости у контексту анализе индустријских система.

Предложени приступ омогућава интеграцију организационих и производних аспеката моделовања човека у јединствени моделарски оквир. На тај начин се ствара основа за даљи развој интелигентних система за управљање људским ресурсима, који могу подржати оптимално распоређивање радника, планирање производних активности и унапређење сарадње између људи и технолошких система.

Резултати овог истраживања указују да моделом вођени приступи, у комбинацији са наменским језицима за моделовање, представљају перспективан правац за формализацију и анализу улоге човека у савременим индустријским системима. Предложени језик *HResModLan* и пратећи алат представљају основу за даља истраживања и развој решења која ће омогућити ефикасније, безбедније и управљање људским ресурсима у оквиру Индустрије 4.0 и Индустрије 5.0.

8 Литература

- [1] D. Zelenović, “Projektovanje proizvodnih sistema,” in *Fakultet tehničkih nauka*, Novi Sad, Srbija: Fakultet tehničkih nauka, 2012.
- [2] H. Kagermann, W.-D. Lukas, and W. Wahlster, “Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution,” *VDI Nachrichten*, vol. 13, pp. 2–3, 2011.
- [3] D. Gorecky, M. Schmitt, M. Loskyll, and D. Zühlke, “Human-machine-interaction in the industry 4.0 era,” in *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 2014, pp. 289-294,.
- [4] Y. Lu, “Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues,” *J Ind Inf Integr*, vol. 6, pp. 1-10, 2017, doi: 10.1016/j.jii.2017.04.005.
- [5] M. Vještica, V. Dimitrieski, M. Pisarić, S. Kordić, S. Ristić, and I. Luković, “Production processes modelling within digital product manufacturing in the context of Industry 4.0,” *Int. J. Prod. Res.*, 2022, doi: 10.1080/00207543.2022.2125593.
- [6] M. Vještica, V. Dimitrieski, M. Pisarić, S. Kordić, S. Ristić, and I. Luković, “Towards a formal specification of production processes suitable for automatic execution,” *Open Comput. Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 161-179, 2021.
- [7] M. Pisarić, V. Dimitrieski, M. Vještica, and G. Krajoski, “Towards a non-disruptive system for dynamic orchestration of the shop floor,” in *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, Cham: Springer, Aug. 2020, pp. 469-476,.
- [8] D. Romero, P. Bernus, O. Noran, J. Stahre, and Å. Fast-Berglund, “The operator 4.0: Human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems,” in *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 2016, pp. 677-686, . doi: 10.1007/978-3-319-51133-7_80.
- [9] D. R. J. Stahre, “Towards The Resilient Operator 5.0: The Future of Work in Smart Resilient Manufacturing Systems,” *Procedia CIRP*, vol. 104, pp. 1089-1094, 2021, doi: 10.1016/j.procir.2021.11.183.
- [10] D. Ivanov, “The Industry 5.0 framework: viability-based integration of the resilience, sustainability, and human-centricity perspectives,” *Int J Prod Res*, vol. 61, no. 5, pp. 1683-1695, 2023, doi: 10.1080/00207543.2022.2118892.
- [11] M. Nardo, D. Forino, and T. Murino, “The evolution of man-machine interaction: The role of human in Industry 4.0 paradigm,” *Prod. Manuf. Res.*, vol. 8, no. 1, pp. 20-34, 2020, doi: 10.1080/21693277.2020.1737592.
- [12] M. Vještica, V. Dimitrieski, M. Pisarić, S. Kordić, S. Ristić, and I. Luković, “Multi-level production process modeling language,” *J Comput Lang*, no. 101053, 2021, doi: 10.1016/j.cola.2021.101053.
- [13] M. Vještica, “A Model-Driven Approach to the Production Process Specification and Generation,” PhD Dissertation, University of Novi Sad, 2024.
- [14] P. Fantini *et al.*, “Exploring the integration of the human as a flexibility factor in CPS enabled manufacturing environments: Methodology and results,” in *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2016, pp. 5711-5716,.
- [15] M. Bortolini, M. Faccio, F. G. Galizia, M. Gamberi, and F. Pilati, “Adaptive automation assembly systems in the industry 4.0 era: a reference framework and full-scale prototype,” *Appl Sci*, vol. 11, no. 3, p. 1256, 2021, doi: 10.3390/app11031256.

- [16] A. Gellert, S. A. Precup, B. C. Pirvu, U. Fiore, C. B. Zamfirescu, and F. Palmieri, “An Empirical Evaluation of Prediction by Partial Matching in Assembly Assistance Systems,” *Appl Sci*, vol. 11, no. 7, p. 3278, 2021, doi: 10.3390/app11073278.
- [17] S. Hahm, “Attitudes and Performance of Workers Preparing for the Fourth Industrial Revolution,” *TIIS*, vol. 12, no. 8, pp. 4038-4056, 2018.
- [18] G. B. Cotet, B. A. Balgiu, and V. C. Zaleschi, “Assessment procedure for the soft skills requested by Industry 4.0,” in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, 2017, p. 07005,.
- [19] H. Rødseth, R. Eleftheriadis, E. Lodgaard, and J. M. Fordal, “Operator 4.0—Emerging job categories in manufacturing,” in *International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*, Singapore: Springer, 2018, pp. 114-121,.
- [20] J. Leng *et al.*, “Industry 5.0: Prospect and retrospect,” *J. Manuf. Syst.*, vol. 65, pp. 279-295, 2022.
- [21] S. Kalateh, L. A. Estrada-Jimenez, T. Pulikottil, S. N. Hojjati, and J. Barata, “The human role in Human-centric Industry,” in *IECON 2022—48th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, IEEE, Oct. 2022, pp. 1-6,.
- [22] A. Alhloul and E. Kiss, “Industry 4.0 as a challenge for the skills and competencies of the labor force: A bibliometric review and a survey,” *Sci*, vol. 4, no. 3, p. 34, 2022.
- [23] B. A. Kadir and O. Broberg, “Human-centered design of work systems in the transition to industry 4.0,” *Appl. Ergon.*, vol. 92, p. 103334, 2021.
- [24] M. Ghobakhloo, M. Iranmanesh, M. L. Tseng, A. Grybauskas, A. Stefanini, and A. Amran, “Behind the definition of Industry 5.0: a systematic review of technologies, principles, components, and values,” *J. Ind. Prod. Eng.*, pp. 1-16, 2023.
- [25] M. Ciccarelli, A. Papetti, and M. Germani, “Exploring how new industrial paradigms affect the workforce: A literature review of Operator 4.0,” *J. Manuf. Syst.*, vol. 70, pp. 464-483, 2023.
- [26] M. S. Ali and G. AlSadoon, “The Role of E-Learning to Improve Staff Performance in Bahrain Airport Services,” in *2019 International Conference on Fourth Industrial Revolution (ICFIR, 2019)*, pp. 1-6,.
- [27] O. S. I. Fayomi, I. G. Akande, U. C. Esse, and S. Oladipupo, “Examining the roles and challenges of human capital influence on 4th industrial revolution,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2307, no. 1, p. 020039, 2020.
- [28] L. Ayinde and H. Kirkwood, “Rethinking the roles and skills of information professionals in the 4th Industrial Revolution,” *Bus. Inf. Rev.*, vol. 37, no. 4, pp. 142-153, 2020.
- [29] K. V. Vodenko and S. A. Lyausheva, “Science and education in the form 4.0: public policy and organization based on human and artificial intellectual capital,” *J. Intellect. Cap.*, vol. 21, no. 4, pp. 549-564, 2020.
- [30] A. B. E. Aichouni, L. Kolsi, and M. Aichouni, “The Engineering Students Innovation Club Project for Human Capital Development in the areas of Industry 4.0—From the Design to Implementation,” in *2020 Industrial & Systems Engineering Conference (ISEC, 2020)*, pp. 1-4,.
- [31] H. D. Mohammadian and F. Rezaie, “The role of IoE-Education in the 5 th wave theory readiness & its effect on SME 4.0 HR competencies,” in *2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON, 2020)*, pp. 1604-1613,.
- [32] H. Kagermann, W. Wahlster, and J. Helbig, *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Germany: Acatech – National Academy of Science and Engineering, 2013.
- [33] S. C. Park, “The Fourth Industrial Revolution and implications for innovative cluster policies,” *Soc.*, vol. 33, no. 3, pp. 433-445, 2018.

- [34] M. Hermann, T. Pentek, and B. Otto, "Design principles for Industrie 4.0 scenarios," in *Proceedings of the 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS, IEEE, 2016*, pp. 3928–3937. doi: 10.1109/HICSS.2016.488.
- [35] L. D. Xu, E. L. Xu, and L. Li, "Industry 4.0: State of the art and future trends," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 56, no. 8, pp. 2941–2962, 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1444806.
- [36] T. Gallo and A. Santolamazza, "Industry 4.0 and human factor: How is technology changing the role of the maintenance operator?," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 180, pp. 388-393, 2021.
- [37] W. Bauer, M. Hämmerle, S. Schlund, and C. Vocke, "Transforming to a hyper-connected society and economy – towards an 'Industry 4.0,'" *Procedia Manuf.*, vol. 3, pp. 417–424, 2015, doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.200.
- [38] D. Wurhofer, T. Meneweger, V. Fuchsberger, and M. Tscheligi, "Reflections on Operators' and Maintenance Engineers' Experiences of Smart Factories," in *Proceedings of the 2018 ACM Conference on Supporting Groupwork*, 2018, pp. 284–296.
- [39] V. Pasquale, S. Miranda, and W. P. Neumann, "Ageing and human-system errors in manufacturing: a scoping review," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 15, pp. 4716-4740, 2020.
- [40] H. Mucha, "The Industrial Internet of Things: New Perspectives on HCI and CSCW within Industry Settings," in *Companion of the 2018 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing*, 2018, pp. 393–400.
- [41] C. Krupitzer *et al.*, "A Survey on Human Machine Interaction in Industry 4.0." 2020.
- [42] M. Klumpp, M. Hesenius, O. Meyer, C. Ruiner, and V. Gruhn, "Production logistics and human-computer interaction—state-of-the-art, challenges and requirements for the future," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 105, no. 9, pp. 3691-3709, 2019.
- [43] D. Sahinel, C. Akpolat, O. C. Görür, and F. Sivrikaya, "Integration of human actors in IoT and CPS landscape," in *2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2019, pp. 485-490,.
- [44] F. Ansari, S. Erol, and W. Sihn, "Rethinking human-machine learning in industry 4.0: How does the paradigm shift treat the role of human learning?," *Procedia Manuf.*, vol. 23, pp. 117-122, 2018.
- [45] B. A. Kadir, O. Broberg, and C. S. Conceicao, "Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 137, 2019.
- [46] F. Longo, A. Padovano, L. Gazzaneo, J. Frangella, and R. Diaz, "Human factors, ergonomics and Industry 4.0 in the Oil&Gas industry: a bibliometric analysis," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 180, pp. 1049-1058, 2021.
- [47] M. Jongprasithporn, N. Yodpijit, C. Phaisanthanaphark, Y. Buranasing, and T. Sittiwanchai, "Effects of Industry 4.0 on Human Factors/Ergonomics Design in 21st Century," in *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, Cham: Springer, 2020, pp. 437–443.
- [48] C. Cimini, A. Lagorio, F. Pirola, and R. Pinto, "Exploring human factors in Logistics 4.0: empirical evidence from a case study," *IFAC-Pap.*, vol. 52, no. 13, pp. 2183-2188, 2019.
- [49] R. M. Oosthuizen and C. H. Mayer, "At the edge of the Fourth Industrial Revolution: Employees' perceptions of employment equity from a CIBART perspective," *SA J. Ind. Psychol.*, vol. 45, no. 1, pp. 1-11, 2019.

- [50] M. Munsamy and A. Telukdarie, "Digital HRM Model for Process Optimization by Adoption of Industry 4.0 Technologies," in *2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2019, pp. 374-378,.
- [51] D. L. Sala and J. A. Puente, "The role of high-performance people management practices in Industry 4.0: The case of medium-sized Spanish firms," *Intang. Cap.*, vol. 15, no. 3, pp. 190-207, 2019.
- [52] W. Jędrzejczyk, "Human-Organization Relation in the Perspective of Industry 4.0," in *International Scientific-Technical Conference MANUFACTURING*, Cham: Springer, 2019, pp. 14–24.
- [53] E. Commission, *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021. doi: 10.2777/308407.
- [54] A. Angelopoulou, K. Mykoniatis, and N. R. Boyapati, "Industry 4.0: The use of simulation for human reliability assessment," *Procedia Manuf.*, vol. 42, pp. 296-301, 2020.
- [55] F. Longo, A. Padovano, and S. Umbrello, "Value-oriented and ethical technology engineering in Industry 5.0: A human-centric perspective," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 12, p. 4182, 2020.
- [56] S. Nahavandi, "Industry 5.0—A human-centric solution," *Sustainability*, vol. 11, no. 16, p. 4371, 2019, doi: 10.3390/su11164371.
- [57] A. Carfi, J. Villalobos, E. Coronado, B. Bruno, and F. Mastrogiovanni, "Can human-inspired learning behavior facilitate human–robot interaction?," *Int. J. Soc. Robot.*, vol. 2, no. 1, pp. 173-186, 2020.
- [58] M. Scafà, A. Papetti, A. Brunzini, and M. Germani, "How to improve worker's well-being and company performance: A method to identify effective corrective actions," *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 162-167, 2019.
- [59] J. Nelles, S. Kuz, A. Mertens, and C. M. Schlick, "Human-centered design of assistance systems for production planning and control: The role of the human in Industry 4.0," in *2016 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 2016, pp. 2099-2104,.
- [60] R. C. Allen, *The British Industrial Revolution in Global Perspective*. Cambridge University Press, 2009.
- [61] C. B. Frey and M. A. Osborne, "The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation?," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 114, pp. 254–280, 2017.
- [62] D. S. Landes, *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*. Cambridge University Press, 1969.
- [63] P. Mantoux, *The Industrial Revolution in the Eighteenth Century*. Jonathan Cape, 1928.
- [64] E. P. Thompson, "Time, work-discipline, and industrial capitalism," *Past Present*, vol. 38, pp. 56–97, 1967.
- [65] S. D. Chapman, *The Cotton Industry in the Industrial Revolution*. Macmillan, 1972.
- [66] J. Mokyr, *The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress*. Oxford University Press, 1990.
- [67] S. A. Marglin, "What do bosses do? The origins and functions of hierarchy in capitalist production," *Rev. Radic. Polit. Econ.*, vol. 6, no. 2, pp. 60–112, 1974.
- [68] H. Braverman, *Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century*. Monthly Review Press, 1974.
- [69] F. Engels, *The Condition of the Working Class in England*. Otto Wigand, 1845.

- [70] E. J. Hobsbawm, *The Age of Revolution: Europe 1789–1848*. Weidenfeld & Nicolson, 1962.
- [71] J. Humphries, *Childhood and Child Labour in the British Industrial Revolution*. Cambridge University Press, 2010.
- [72] E. P. Thompson, *The Making of the English Working Class*. Victor Gollancz, 1963.
- [73] K. Marx, *Capital: A Critique of Political Economy*, vol. 1. Otto Meissner, 1867.
- [74] A. D. Chandler, *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*. Harvard University Press, 1977.
- [75] D. A. Hounshell, *From the American System to Mass Production, 1800–1932*. Johns Hopkins University Press, 1984.
- [76] E. Brynjolfsson and A. McAfee, *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company, 2014.
- [77] D. H. Autor, “Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation,” *J. Econ. Perspect.*, vol. 29, no. 3, pp. 3–30, 2015.
- [78] H. Lasi, P. Fettke, H.-G. Kemper, T. Feld, and M. Hoffmann, “Industry 4.0,” *Bus. Inf. Syst. Eng.*, vol. 6, no. 4, pp. 239–242, 2014.
- [79] S. Shamim, S. Cang, H. Yu, and Y. Li, “Management approaches for Industry 4.0: A human resource management perspective,” in *2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC, 2016)*, pp. 5309–5316,.
- [80] G. D’antonio and P. Chiabert, “How to Manage People Underutilization in an Industry 4.0 Environment?,” in *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*, Cham: Springer, 2018, pp. 455–464.
- [81] K. Schwab, *The fourth industrial revolution*. World Economic Forum, 2016.
- [82] F. Longo, L. Nicoletti, and A. Padovano, “Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators’ capabilities and competencies within the new smart factory context,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 113, pp. 144–159, 2017.
- [83] T. K. Sung, *Industry 4.0: A Korea perspective*. Technological Forecasting and Social Change, 2018.
- [84] M. Kiesel and M. Wolpers, “Educational challenges for employees in project-based Industry 4.0 scenarios,” in *Proceedings of the 15th International Conference on Knowledge Technologies and Data-driven Business*, 2015, pp. 1–4,.
- [85] T. Ruppert, S. Jaskó, T. Holczinger, and J. Abonyi, “Enabling technologies for operator 4.0: A survey,” *Appl. Sci.*, vol. 8, p. 1650, 2018.
- [86] A. Nankervis, J. Connell, R. Cameron, A. Montague, and V. Prikshat, “Are we there yet? Australian HR professionals and the Fourth Industrial Revolution,” *Asia Pac. J. Hum. Resour.*, vol. 59, no. 1, pp. 3–19, 2021.
- [87] E. Flores, X. Xu, and Y. Lu, “Human Capital 4.0: a workforce competence typology for Industry 4.0,” *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 31, no. 4, pp. 687–703, 2020.
- [88] A. Jerman, M. P. Bach, and A. Aleksić, “Transformation towards smart factory system: Examining new job profiles and competencies,” *Syst. Res. Behav. Sci.*, vol. 37, no. 2, pp. 388–402, 2020.
- [89] I. Zolotová, P. Papcun, E. Kajáti, M. Miškuf, and J. Mocnej, “Smart and cognitive solutions for Operator 4.0: Laboratory H-CPPS case studies,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 139, p. 105471, 2020.
- [90] A. Chacón, C. Angulo, and P. Ponsa, “Developing Cognitive Advisor Agents for Operators in Industry 4.0,” in *New Trends in the Use of Artificial Intelligence for the Industry 4.0, IntechOpen*, 2020.
- [91] K. AnTosz, “Maintenance–identification and analysis of the competency gap,” *Eksploat. Niezawodn. – Maint. Reliab.*, vol. 20, no. 3, pp. 484–494, 2018.

- [92] A. Benešová and J. Tupa, "Requirements for education and qualification of people in Industry 4.0," *Procedia Manuf.*, vol. 11, pp. 2195-2202, 2017.
- [93] A. Rejeb, K. Rejeb, S. Simske, and H. Treiblmaier, "When Industry 5.0 meets the circular economy: A systematic literature review." 2025.
- [94] J. Bézivin, "On the unification power of models," *Softw Syst Model*, vol. 4, no. 2, pp. 171-188, 2005, doi: 10.1007/s10270-005-0079-0.
- [95] T. Stahl, M. Völter, and K. Czarnecki, *Model-driven software development: technology, engineering, management*, 1st ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2006.
- [96] T. Kühne, "Matters of (meta-)modeling," *Softw Syst Model*, vol. 5, no. 4, pp. 369-385, 2006, doi: 10.1007/s10270-006-0017-9.
- [97] W. P. Neumann, S. Winkelhaus, E. H. Grosse, and C. H. Glock, "Industry 4.0 and the human factor—A systems framework and analysis methodology for successful development," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 233, p. 107992, 2021.
- [98] M. Zarte, A. Pechmann, and I. L. Nunes, "Principles for Human-Centered System Design in Industry 4.0—A Systematic Literature Review," in *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, Cham: Springer, 2020, pp. 140–147.
- [99] M. A. Mohamed, M. Challenger, and G. Kardas, "Applications of model-driven engineering in cyber–physical systems: A systematic mapping study," *J Comput Lang*, no. 100972, 2020, doi: 10.1016/j.col.2020.100972.
- [100] G. Sebastián, J. A. Gallud, and R. Tesoriero, "Code generation using model driven architecture: A systematic mapping study," *J Comput Lang*, no. 100935, 2020, doi: 10.1016/j.col.2019.100935.
- [101] E. Araújo Silva, E. Valentin, J. R. H. Carvalho, and R. Silva Barreto, "A survey of model driven engineering in robotics," *J Comput Lang*, no. 101021, 2021, doi: 10.1016/j.col.2020.101021.
- [102] "Object Management Group, "Meta Object Facility, Version 2.5.1." 2016.
- [103] J. Bezivin and O. Gerbe, "Towards a Precise Definition of the OMG/MDA Framework," in *Proc. 16th Annu. Int. Conf. Autom. Softw. Eng. ASE 2001*, San Diego, CA, USA: IEEE, 2001, pp. 273–280. doi: 10.1109/ASE.2001.989813.
- [104] C. Atkinson and T. Kühne, "Model-Driven Development: A Metamodeling Foundation," *IEEE Softw*, vol. 20, pp. 36-41, 2003, doi: 10.1109/MS.2003.1231149.
- [105] F. Truyen, "The fast guide to model driven architecture: the basics of model driven architecture," *Cephas Consult. Corp*, Jan. 2006.
- [106] B. Vallespir and Y. Ducq, "Enterprise modelling: from early languages to models transformation," *Int J Prod Res*, vol. 56, pp. 2878-2896, 2018, doi: 10.1080/00207543.2017.1418985.
- [107] P. Tinz, J. Tinz, and S. Zander, "Knowledge Management Models for the Smart Factory: A Comparative Analysis of Current Approaches," in *KMIS*, 2019, pp. 398-404,.
- [108] "Object Management Group, "Unified Modeling Language," *Version*, vol. 2, no. 5.1. 2017.
- [109] J. Jiao, M. M. Tseng, Q. Ma, and Y. Zou, "Generic bill-of-materials-and-operations for high-variety production management," *Concurr Eng*, vol. 8, no. 4, pp. 297-321, 2000, doi: 10.1177/1063293X0000800404.
- [110] A. García-Domínguez, M. Marcos, and I. Medina, "A comparison of BPMN 2.0 with other notations for manufacturing processes," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1431, no. 1, pp. 593-600, 2012, doi: 10.1063/1.4707613.
- [111] C. Ouyang, M. T. Wynn, C. Fidge, A. H. T. Hofstede, and J. C. Kuhr, "Modelling complex resource requirements in business process management systems," in *Proceedings of the 21st Australasian Conference on Information Systems*, 2010.

- [112] M. Polderdijk *et al.*, “A visualization of human physical risks in manufacturing processes using BPMN,” in *Lecture Notes in Business Information Processing*, 2017, pp. 732-743,. doi: 10.1007/978-3-319-74030-0_58.
- [113] W. Zaouga, L. B. A. Rabai, and W. R. Alalyani, “Towards an Ontology Based-Approach for Human Resource Management,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 151, pp. 417-424, 2019.
- [114] M. Dumas, M. Rosa, J. Mendling, and H. A. Reijers, *Fundamentals of Business Process Management*, 2nd ed. Springer, 2018.
- [115] J. Recker, “Opportunities and constraints: The current struggle with BPMN,” *Bus. Process Manag. J.*, 2010.
- [116] E. Yu, “Modelling Strategic Relationships for Process Reengineering,” (PhD thesis),. University of Toronto, 1995.
- [117] J. Mendling and M. Nüttgens, “EPC markup language (EPML): An XML-based interchange format for event-driven process chains (i pregled EPC pristupa). Information Systems and e-Business Management / CAiSE radovi.” 2006.
- [118] H. B. Maynard, G. J. Stegemerten, and J. L. Schwab, *Methods-Time Measurement*. McGraw-Hill, 1948.
- [119] K. B. Zandin, *MOST Work Measurement Systems*. Marcel Dekker / CRC Press, 2002.
- [120] M. Faber, “Empirical validation of the time accuracy of the process building block system MTM-HWD® (Human Work Design,” in *Ergonomics in Design / Human Factors and Ergonomics in Manufacturing (T&F)*, 2019.
- [121] D. O. Clark, “Computer systems for MTM application and maintenance,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 5, no. 4, pp. 285–291, 1981.
- [122] N. I. Badler, C. B. Phillips, and B. L. Webber, *Simulating Humans: Computer Graphics Animation and Control*. Simulating Humans: Computer Graphics Animation and Control. Oxford University Press, 1993.
- [123] F. Longo, L. Nicoletti, and A. Padovano, “Modeling workers’ behavior: A human factors taxonomy and a fuzzy analysis in the case of industrial accidents,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 69, pp. 29-47, 2019.
- [124] A. Reiman, J. Kaivo-oja, E. Parviainen, E. P. Takala, and T. Lauraeus, “Human factors and ergonomics in manufacturing in the industry 4.0 context–A scoping review,” *Technol. Soc.*, vol. 65, p. 101572, 2021.
- [125] A. Fleischmann, W. Schmidt, and C. Stary, *Subject-Oriented Business Process Management*. Springer, 2012.
- [126] W. M. P. Aalst, “The application of Petri nets to workflow management,” *J. Circuits Syst. Comput.*, vol. 8, no. 1, pp. 21–66, 1998.
- [127] C. Cimini, F. Pirola, R. Pinto, and S. Cavalieri, “A human-in-the-loop manufacturing control architecture for the next generation of production systems,” *J. Manuf. Syst.*, vol. 54, pp. 258-271, 2020.
- [128] M. P. Pacaux-Lemoine, Q. Berdal, C. Guérin, P. Rauffet, C. Chauvin, and D. Trentesaux, “Designing human–system cooperation in industry 4.0 with cognitive work analysis: a first evaluation,” *Cogn. Technol. Work*, pp. 1-19, 2021.
- [129] P. Taillandier *et al.*, “Building, composing and experimenting complex spatial models with the GAMA platform.” 2012.
- [130] M. J. North, “Repast Symphony / agent-based modeling toolkit (opis platforme i primene,” in *Proceedings / Simulation Conference*, 2013.
- [131] U. Kannengiesser and H. Müller, “Towards agent-based smart factories: A subject-oriented modeling approach,” in *2013 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence (WI) and Intelligent Agent Technologies (IAT)*, 2013, pp. 83-86,.

- [132] S. T. March and G. F. Smith, "Design and natural science research on information technology," *Decis Support Syst*, vol. 15, pp. 251-266, 1995, doi: 10.1016/0167-9236(94)00041-2.
- [133] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, and S. Ram, "Design Science in Information Systems Research," *MIS Q*, vol. 28, pp. 75-105, 2004, doi: 10.2307/25148625.
- [134] J. Brocke, A. Hevner, and A. Maedche, *Introduction to Design Science Research," in Design Science Research Cases*. Cham: Springer, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-46781-4_1.
- [135] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee, "A Design Science Research Methodology for Information Systems Research," *J Manag Inf Syst*, vol. 24, pp. 45-77, 2007, doi: 10.2753/MIS0742-1222240302.
- [136] M. Pisarić, V. Dimitrieski, M. Vještica, G. Krajoski, and M. Kapetina, "Towards a Flexible Smart Factory with a Dynamic Resource Orchestration," *Appl Sci*, vol. 11, p. 7956, 2021, doi: 10.3390/app11177956.
- [137] "Eclipse Sirius Documentation." Mar. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.eclipse.org/sirius/doc/>.
- [138] F. Sgarbossa, E. H. Grosse, W. P. Neumann, D. Battini, and C. H. Glock, "Human factors in production and logistics systems of the future," *Annu. Rev. Control*, vol. 49, pp. 295-305, 2020.
- [139] S. Nahavandi, "Trust and Trustworthy Autonomous Systems," *IEEE Syst. Man Cybern. Mag.*, 2019.
- [140] B. A. Kadir and O. Broberg, "Human well-being and system performance in the transition to industry 4.0," *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 76, p. 102936, 2020.
- [141] F. Linden, K. Schmid, and E. Rommes, "Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering," in *Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering*, Springer, 2007.
- [142] K. C. Kang, S. G. Cohen, J. A. Hess, W. E. Novak, and A. S. Peterson, *Feature-Oriented Domain Analysis (FODA) Feasibility Study*. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, 1990.
- [143] K. Czarnecki and U. W. Eisenecker, *Generative Programming: Methods, Tools, and Applications*. Addison-Wesley, 2000.
- [144] P. Donohoe, Ed., *Software Product Lines: Experience and Research Directions*. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [145] L. Northrop, *Software Product Lines: Practices and Patterns*. Addison-Wesley, 2002.
- [146] R. Cleaveland, "Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering," in *Software Product Lines in Action: The Best Industrial Practice in Product Line Engineering*, Springer, 2005.
- [147] K. Kang, S. Kim, J. Lee, K. Kim, and E. Shin, *FORM: A Feature-Oriented Reuse Method with Domain-Specific Reference Architectures*. Annals of Software Engineering, 1998.
- [148] K. Pohl, G. Böckle, and F. Linden, "Software Product Line Engineering: Foundations, Principles, and Techniques," in *Springer Software Product Line Engineering: Foundations, Principles, and Techniques*, 2005.
- [149] S. Nahavandi, "Human–Cyber–Physical Systems: The Next Revolution," *IEEE Syst. Man Cybern. Mag.*, 2019.
- [150] D. Romero *et al.*, "Towards an Operator 4.0 Typology." 2016.
- [151] D. Mourtzis, S. Fotia, N. Boli, and E. Vlachou, "Human-centered manufacturing in the context of Industry 4.0," *J. Manuf. Syst.*, vol. 54, pp. 261–272, 2019.
- [152] D. Romero *et al.*, "Towards an operator 4.0 typology: a human-centric perspective on the fourth industrial revolution technologies," in *Proceedings of the International*

Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE46, Tianjin, China, 2016, pp. 29-31.,

- [153] L. Bonekamp and M. Sure, “Consequences of Industry 4.0 on human labour and work organisation,” *J. Bus. Media Psychol.*, vol. 6, no. 1, pp. 33–40, 2015.
- [154] D. Antanasijević, M. Vještica, L. Grubić-Nešić, V. Dimitrieski, M. Pisarić, and S. Ristić, “An Organizational Perspective of Human Resource Modeling,” *IPSI Trans. Internet Res.*, vol. 19, no. 2, pp. 64-75, 2023, doi: 10.58245/ipsi.tir.2302.08.
- [155] D. Antanasijević, S. Ristić, M. Vještica, D. Stefanović, V. Dimitrieski, and M. Pisarić, “A Prototype of a Domain-Specific Modeling Language for Formal Specification of a Human Worker,” *Acta Electrotech. Inform.*, vol. 23, no. 2, pp. 33-40, 2023.
- [156] I. Salman, A. T. Misirli, N. Juristo, and Are, “Students Representatives of Professionals in Software Engineering Experiments?,” in *Proc. 2015 IEEEACM 37th IEEE Int. Conf. Softw. Eng: IEEE*, 2015, pp. 666–676. doi: 10.1109/ICSE.2015.82.
- [157] A. Deursen, P. Klint, and J. Visser, “Domain-specific languages: An annotated bibliography,” *ACM SIGPLAN Not.*, vol. 35, no. 6, pp. 26–36, 2000.
- [158] M. Strembeck and U. Zdun, “An approach for the systematic development of domain-specific languages,” *Softw. Pract. Exp.*, vol. 39, no. 15, pp. 1253–1292, 2009.
- [159] I.S.O./I.E.C., “Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models.”
- [160] M. Mernik, J. Heering, and A. M. Sloane, “When and how to develop domain-specific languages,” *ACM Comput. Surv.*, vol. 37, no. 4, pp. 316–344, 2005.

Додатак А

У овом додатку приказан је задатак који је додељен учесницима експеримента у оквиру процеса евалуације, описаног у Поглављу 6, са циљем тестирања доменски специфичног језика *HResModLan* и припадајућег алата за моделовање људских ресурса (видети Додатак А.1). Задатак је дефинисан на основу свеобухватног случаја употребе који обухвата организационе, људске и производне аспекте индустријског система, са циљем процене изражајности језика и његове способности да подржи моделовање сложених реалних сценарија.

Поред текста задатка, у овом додатку приказано је и референтно решење у облику модела израђеног у језику *HResModLan*, које представља очекивани резултат моделовања (видети Додатак А.2). Учесници експеримента су, на основу датог описа и упутстава, требало да креирају модел који обухвата све релевантне елементе и њихове међусобне односе.

Након завршетка задатка и практичног коришћења језика *HResModLan* и одговарајућег алата, учесници су замољени да попуне упитник за евалуацију, који је приказан у Додатку А.3. Упитник је коришћен за прикупљање повратних информација о употребљивости језика, разумљивости концепата, као и о лакоћи моделовања у оквиру предложеног приступа.

Додатак А.1. Задатак експеримента

Следећи текст представља документ са задатком који је додељен учесницима експеримента у циљу тестирања језика *HResModLan* и алата за моделовање човека. Овај задатак представља поједностављену верзију модела који се односе на организациону перспективу и моделовање ограничења и способности људских ресурса, како је описано у одговарајућем поглављу дисертације. Поједностављени модел коришћен у задатку осмишљен је тако да обухвати кључне концепте *HResModLan* језика и методолошки је усклађен са примерима представљеним у претходним истраживањима и публикацијама [154], [155].

HResModLan задатак

Задатак на основу којег је спроведена евалуација алата и језика *HResModLan* дат је у овом документу. Учесници у експерименту преузимају улогу стручњака за анализу и дизајн организационих структура и модела људских ресурса у индустријском предузећу. Њихов задатак је да моделују човека у оквиру организације и производног система коришћењем језика *HResModLan*, на основу захтева описаних у наставку. Пример модела који илуструје очекиване резултате приказан је у прилогу.

У циљу евалуације предложеног доменски специфичног језика за моделовање организационих и производних система, дефинисан је сценарио који одражава реалистично индустријско окружење. Испитаницима се задаје задатак моделовања фабрике декоративне амбалаже *ElegantBox Decorative Packaging Factory* (Фабрика декоративне амбалаже *ElegantBox*), која послује у Новом Саду (*Novi Sad*) и бави се производњом декоративних кутија.

Циљ задатка је да се креира модел који интегрише организационе, људске и производне аспекте система. Модел треба да обухвати организациону структуру, радна места, запослене, компетенције, квалификације, уговорне односе, правни оквир, производне процесе, ресурсе, ограничења, интеракције човек-технолозија, као и елементе знања, профила система и унапређења.

Задатак је подељен у више корака ради постепене изградње модела.

Корак 1 – Моделовање организације и структуре

Моделовати организацију *ElegantBox Decorative Packaging Factory* (Фабрика декоративне амбалаже *ElegantBox*) као централни елемент модела.

Дефинисати следеће организационе јединице:

- сектор људских ресурса (*Human Resources Sector*)
- производни сектор (*Production Sector*)
- сектор продаје (*Sales Sector*)

У оквиру производног сектора дефинисати:

- одељење за склапање кутија (*Box Assembly Department*)
- одељење за производњу компоненти кутија (*Box Components Manufacturing Department*)

Даље разложити структуру на:

- канцеларију за обраду картона (*Cardboard Processing Office*)
- канцеларију за складиштење материјала (*Material Storage Office*)
- секцију за сечење картона (*Cardboard Cutting Section*)
- секцију за обраду декоративног папира (*Decorative Paper Processing Section*)
- секције складиштења материјала

Корак 2 – Радна места и организационе функције

Дефинисати радна места:

- радно место машине за сечење (*Cutting Machine Workplace*)
- радно место контроле квалитета (*Quality Inspection Workplace*)
- радно место координације продаје (*Sales Coordination Workplace*)

Дефинисати организационе функције:

- директор компаније (*Director of the Company*)
- менаџер производње (*Production Manager*)
- менаџер продаје (*Sales Manager*)
- супервизор линије паковања (*Packaging Line Supervisor*)
- оператер машине (*Machine Operator*)
- специјалиста контроле квалитета (*Quality Control Specialist*)

Корак 3 – Запослени, компетенције и искуство

Дефинисати следеће запослене:

- Милан Марковић (*Milan Marković*)
- Марко Јовановић (*Marko Jovanović*)
- Ана Петровић (*Ana Petrović*)
- Никола Мирковић (*Nikola Mirković*)
- Стефан Илић (*Stefan Ilić*)

Повезати запослене са радним местима и организационим функцијама.

Дефинисати компетенције:

- инспекција квалитета производа (*Product Quality Inspection*)
- пажња на детаље (*Attention to Detail*)

Доделити компетенције запосленима и релевантним радним местима.

Дефинисати искуства (рецимо за директора):

- искуство у извршном менаџменту (*Executive Management Experience*)
- искуство у индустријској продаји и координацији процеса

Корак 4 – Квалификације и лиценце

Дефинисати квалификације:

- машински техничар (*Mechanical Technician*)

Дефинисати лиценце:

- лиценца за рад на индустријским машинама (*Industrial Machine Operation License*)
- лиценца за машину за сечење (*Industrial Cutting Machine License*)

Повезати квалификације и лиценце са запосленима и радним местима.

Корак 5 – Уговори и принципи рада

За запосленог Милана Марковића дефинисати:

- два уговора о раду (*Employment Contract*)

У оквиру уговора дефинисати:

- више принципа рада (*Principle Statement*)
 - статус принципа (активан / неактиван)
-

Корак 6 – Правни оквир и ограничења

Дефинисати правне акте:

- Закон о раду Републике Србије (*Labor Law of the Republic of Serbia*)
- Закон о општој безбедности производа (*Law on General Product Safety of the Republic of Serbia*)
- правилнике који регулишу квалитет и мерење

Дефинисати ограничења:

- обавезна инспекција производа (*Mandatory Product Inspection*)
- обавеза пријаве неисправног производа (*Defective Product Reporting Obligation*)

Повезати ограничења са правним актима и радним местима.

Корак 7 – Производни процес

Моделовати процес:

- процес инспекције квалитета декоративних кутија (*Decorative Box Quality Inspection Process*)

Дефинисати процесне кораке:

- пријем готовог производа
 - инспекција изгледа и димензија
 - евидентирање резултата инспекције
-

Корак 8 – Производни ресурси

Дефинисати производне ресурсе:

- уређај за оптичку инспекцију (*Optical Inspection Device QI-200*)
- мерни калибар (*Measurement Caliper*)
- робот за позиционирање кутија (*Box Positioning Robot R-12*)
- терминал за унос података (*Inspection Data Terminal DT-10*)
- баркод скенер (*Barcode Scanner BS-200*)

Повезати ресурсе са одговарајућим процесним корацима.

Дефинисати људски производни ресурс (*Human Production Resource*) и повезати га са процесом.

Корак 9 – Способности, ограничења и параметри

Дефинисати способности:

- детекција визуелних дефеката (*Visual Defect Detection*)
- верификација тачности мерења (*Measurement Accuracy Verification*)

Дефинисати:

- ограничења (толеранција 1 mm)
- параметре (тачност 95%)

Повезати способности са ограничењима и правним актима.

Корак 10 – Интеракција човек-технологија

Моделовати интеракцију у оквиру корака:

- евидентирање резултата инспекције

Повезати:

- људски ресурс
 - техничке ресурсе
 - процесни корак
 - VOICE интерфејс
-

Корак 11 – Профили система

Дефинисати:

- етичку усклађеност (*Ethical Compliance*)
- профил одрживости (*Sustainability Profile*)
- профил адаптабилности (*Adaptability Profile*)

Повезати профиле са људским производним ресурсима.

Корак 12 – Знање и квалификација ресурса

Дефинисати ресурс знања (*Knowledge Resource*) као документ или упутство.

Повезати га са:

- процесним кораком
- техничким ресурсима

Дефинисати квалификацију ресурса (*Resource Qualification*) и повезати је са процесом.

Корак 13 – Иновације и унапређење

Дефинисати:

- захтев за унапређење (*Improvement Request*) на нивоу организације
- иновациони допринос (*Innovation Contribution*) на нивоу људског ресурса

Повезати оба елемента са процесом.

Упутство за моделовање и повезивање елемената

Поред дефинисања елемената, неопходно је успоставити и одговарајуће релације између њих.

Организација је повезана са организационим јединицама

Организационе јединице су хијерархијски повезане

Радна места су повезана са организационим јединицама

Запослени су повезани са:

- радним местима
- организационим функцијама

Компетенције су повезане са:

- запосленима
- радним местима

Квалификације и искуства су повезани са запосленима

Уговори су повезани са запосленима, а садрже принципе рада

Ограничења су повезана са радним местима или активностима и заснована су на правним актима

Процес је разложен на кораке који су међусобно повезани

Ресурси су повезани са процесним корацима

Способности су повезане са ограничењима и параметрима

Интеракција човек-технологија повезује људске и техничке ресурсе у оквиру процеса

Профили су повезани са људским производним ресурсима

Ресурси знања су повезани са процесима и ресурсима

Improvement Request је повезан са организацијом и процесом

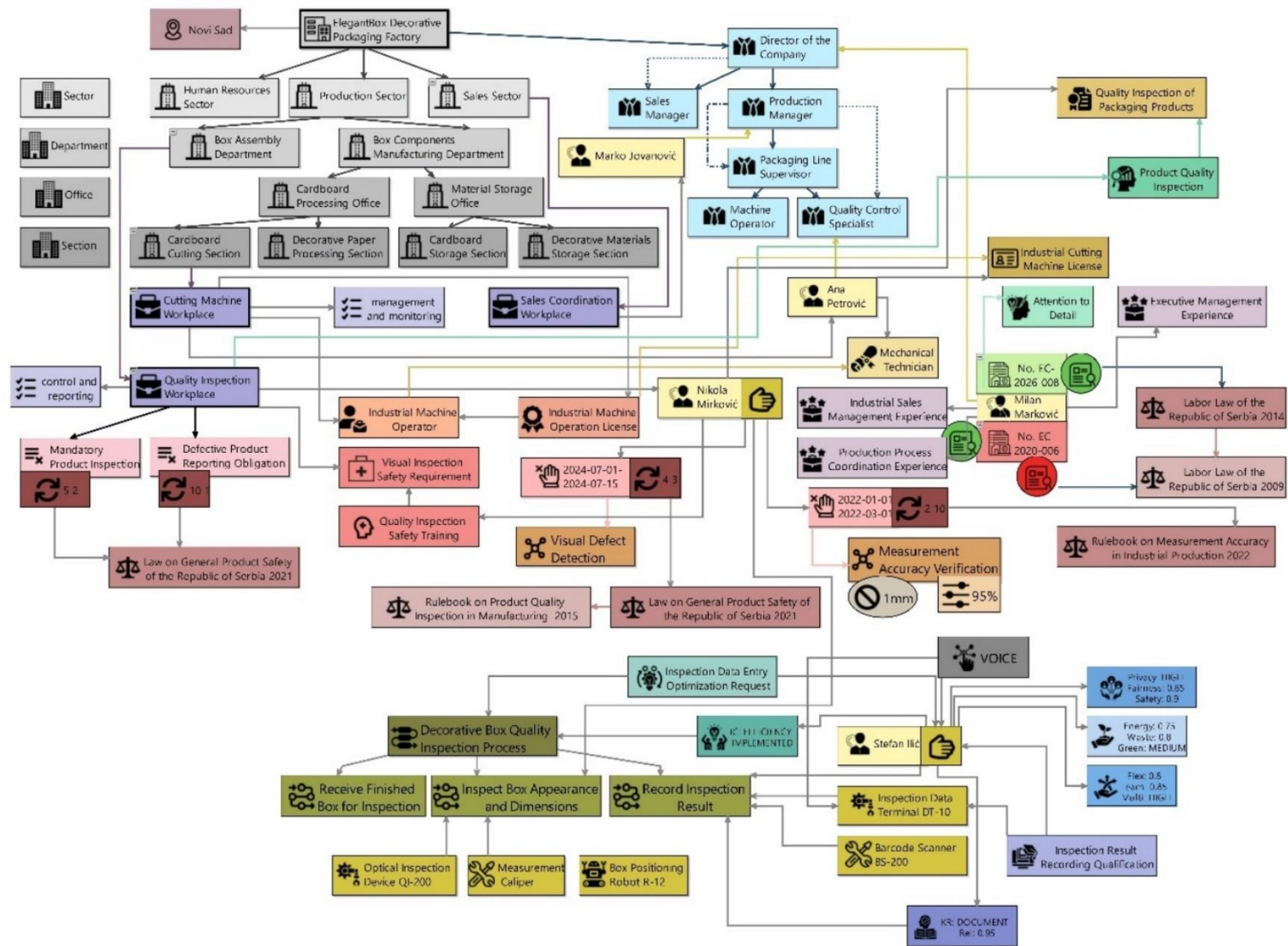
Innovation Contribution је повезан са људским ресурсом и процесом

Напомена

Упутство је дато са циљем уједначавања начина решавања задатка, како би резултати евалуације били упоредиви и независни од индивидуалних интерпретација испитаника.

Додатак А.2. Решење задатака експеримента

У овом додатку приказано је решење задатака експеримента. На Слици 28 приказано је решење задатка моделованог у језику *HResModLan*, које илуструје примену предложених концепата и елемената језика.



Слика 28 – Решење задатка експеримента

Додатак А.3. Упитник за евалуацију експеримента

Основне информације о учеснику

Име и презиме: _____

Е-mail адреса: _____

Припадност групи учесника (означити једну):

- Менаџер људских ресурса (HR менаџер)
 Радник / стручњак из индустријске производње
 Истраживач / студент
 DSL девелопер / креатор језика
 Остало: _____

Одељак 1: Претходно искуство учесника

(За свако питање означити један одговор на петостепеној Ликертовој скали)

1 – Без искуства 2 – Мало искуства 3 – Средње искуство 4 – Велико искуство 5 – Веома велико искуство

1.1 Како бисте описали своје претходно искуство у моделовању организационих структура и људских ресурса?

1 2 3 4 5

1.2 Које језике или алате за моделовање организације и људских ресурса сте раније користили?

1.3 Како бисте описали своје претходно искуство у моделовању производних и радних процеса?

1 2 3 4 5

1.4 Које језике, методе или нотације за моделовање процеса сте раније користили (нпр. BPMN, UML, Петри мреже)?

1.5 Како бисте описали своје претходно искуство у коришћењу CASE алата и алата за моделовање уопште?

1 2 3 4 5

1.6 Које CASE алате или окружења за моделовање сте користили?

Одељак 2: Карактеристике квалитета језика *HResModLan*

Функционална прикладност (*Functional Suitability*)

(1 – веома ниска ... 5 – веома висока)

2.1 У којој мери *HResModLan* подржава моделовање организационе структуре, укључујући организационе јединице, радна места и организационе функције?

1 2 3 4 5

2.2 У којој мери *HResModLan* подржава моделовање запослених, њихових улога, компетенција, квалификација и уговорних односа?

1 2 3 4 5

2.3 У којој мери *HResModLan* подржава моделовање производних процеса и њихових корака?

1 2 3 4 5

2.4 У којој мери *HResModLan* омогућава повезивање ресурса (људских и технолошких) са процесним корацима?

1 2 3 4 5

2.5 У којој мери *HResModLan* подржава моделовање ограничења, способности и њихову повезаност са правним актима?

1 2 3 4 5

2.6 У којој мери *HResModLan* подржава моделовање интеракције човек-технологија?

1 2 3 4 5

Употребљивост (*Usability*)

(1 – у потпуности се не слажем ... 5 – у потпуности се слажем)

2.7 Елементи језика *HResModLan* су јасни и разумљиви.

1 2 3 4 5

2.8 Графички симболи *HResModLan* језика су интуитивни и лако се памте.

1 2 3 4 5

2.9 *HResModLan* омогућава корисницима да реализују задатак без значајних потешкоћа.

1 2 3 4 5

2.10 Алат за моделовање у оквиру *HResModLan*-а је једноставан за коришћење.

1 2 3 4 5

Поузданост (*Reliability*)

(1 – у потпуности се не слажем ... 5 – у потпуности се слажем)

2.11 *HResModLan* помаже у спречавању неконзистентних или неисправних модела.

1 2 3 4 5

2.12 Алат за *HResModLan* омогућава детекцију грешака у моделима.

1 2 3 4 5

Експресивност (*Expressiveness*)

(1 – у потпуности се не слажем ... 5 – у потпуности се слажем)

2.13 Концепти *HResModLan* језика омогућавају природно изражавање проблема из домена организационих и производних система.

1 2 3 4 5

2.14 Ниво апстракције *HResModLan* језика је адекватан за моделовање комплексних индустријских сценарија.

1 2 3 4 5

Продуктивност (*Productivity*)

(1 – дуго / тешко ... 5 – кратко / лако)

2.15 Како бисте оценили време и напор потребне за реализацију задатка моделовања коришћењем *HResModLan* језика?

1 2 3 4 5

2.16 Колико је било лако разумети како повезати елементе у моделу?

1 2 3 4 5

Одељак 3: Слободни коментари

3.1 Додатни коментари, запажања или предлози за унапређење *HResModLan* језика и алата:

Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укоричити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

План третмана података

Назив пројекта/истраживања
Моделима вођен приступ аутоматизацији управљања људским ресурсима у производним системима
Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање
а) Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука б) в)
Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање
Истраживање је реализовано у оквиру израде докторске дисертације на студијском програму Индустрijско инжењерство и инжењерски менаџмент.
1. Опис података
<p>1.1 Врста студије</p> <p><i>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</i></p> <p>У овој докторској дисертацији представљена је анализа оцена различитих учесника о наменском језику и софтверском алату за моделовање човека у Индустрiji 4.0/Индустрiji 5.0.</p> <p>1.2 Врсте података</p> <p>а) <u>квантитативни</u> б) <u>квалитативни</u></p> <p>1.3. Начин прикупљања података</p> <p>а) <u>анкете, упитници, тестови</u> б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи в) генотипови: навести врсту _____ г) административни подаци: навести врсту _____ д) узорци ткива: навести врсту _____ ђ) снимци, фотографије: навести врсту _____ е) текст, навести врсту _____ ж) мапа, навести врсту _____ з) остало: описати _____</p>

1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

- a) **Excel фајл, датотека** .xlsx
- b) SPSS фајл, датотека _____
- c) PDF фајл, датотека _____
- d) **Текст фајл, датотека** .txt
- e) JPG фајл, датотека _____
- f) Остало, датотека _____

1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

- a) број варијабли
- б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.)

1.3.3. Поновљена мерења

- a) да
- б) **не**

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- a) временски размак измедју поновљених мера је _____
- б) варијабле које се више пута мере односе се на _____
- в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као _____

Напомене: _____

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

- a) **Да**
- б) **Не**

Ако је одговор не, образложити _____

2. Прикупљање података

2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

- a) **експеримент**, попуњавање упитника од стране учесника
- б) **корелационо истраживање**, рачунање Спирмановог коефицијента корелације
- ц) анализа текста, навести тип _____
- д) **остало**, дескриптивна анализа коментара из попуњених упитника

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

Упитник је креиран у папирној форми и дистрибуиран учесницима ради прикупљања података. Испитаници су упитник попуњавали ручно, у писаној форми. Упитник је био намењен за оцену наменског језика и алата за моделовање човека.

2.2. Квалитет података и стандарди

2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) Колики је број недостајућих података? _____
б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података?
Да Не
в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

Већина питања садржала је понуђене одговоре у виду петостепене Ликертове скале. Тако да није био могућ унос било каквих других података осим одговора датих на петостепеној Ликертовој скали. Преостала питања садржала су слободну форму за унос текста, чији су одговори улазили искључиво у дескриптивну анализу.

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

Након прикупљања упитника у папирној форми, одговори испитаника су ручно унети у електронску матрицу података. Контрола уноса података извршена је систематичном провером унетих података у односу на оригиналне упитнике, чиме је обезбеђена тачност и поузданост базе података.

3. Третман података и пратећа документација

1.1. Третман и чување података

1.1.1. Подаци ће бити депоновани у Репозиторијум докторски дисертација Универзитета у Новом Саду.

1.1.2. URL адреса <https://www.cris.uns.ac.rs/theses.jsf>

1.1.3. DOI _____

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

- а) **Да**
б) Да, али после ембарга који ће трајати до _____
в) Не

Ако је одговор не, навести разлог _____

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

Образложење

3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен? Стандард који примењује Репозиторијум Универзитета у Новом Саду

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум. Дајана Антанасијевић (2026): Моделима вођен приступ аутоматизацији управљања људским ресурсима у производним системима

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

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

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

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

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

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

Да **Не**

Образложити

4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

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

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

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

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

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

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да Не
Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

а) Подаци нису у отвореном приступу

б) Подаци су анонимизирани

ц) Остало, навести шта

5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

а) јавно доступни

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

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

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

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

Ауторство – некомерцијално – без прераде

6. Улоге и одговорност

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

Дајана Антанасијевић, narandzic@uns.ac.rs

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

Дајана Антанасијевић, narandzic@uns.ac.rs

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

Дајана Антанасијевић, narandzic@uns.ac.rs