



RĪGAS TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE

Darja Plinere

DAUDZAĢENTU SISTĒMAS IZSTRĀDĀŠANA PIEGĀDES ĶĒDES VADĪBAS EFEKTIVITĀTES PAAUGSTINĀŠANAI

Promocijas darbs



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte

Informācijas tehnoloģijas institūts

Darja PLINERE

Doktora studiju programmas “Informācijas tehnoloģija” doktorante

**DAUDZĀGENTU SISTĒMAS IZSTRĀDĀŠANA
PIEGĀDES ĶĒDES VADĪBAS EFEKTIVITĀTES
PAAUGSTINĀŠANAI**

Promocijas darbs

Zinātniskie vadītāji:

profesors *Dr. habil. sc. comp.* **A. BORISOVS**

profesore *Dr. sc. ing.* L. ALEKSEJEVA

profesors *Dr. habil. sc. ing.* J. MERKURJEVS

Rīga 2021

DAUDZAĢENTU SISTĒMAS IZSTRĀDĀŠANA PIEGĀDES ĶĒDES VADĪBAS EFEKTIVITĀTES PAAUGSTINĀŠANAI

Darja Plinere

Anotācija

Promocijas darbā izstrādāta daudzāģentu sistēma, lai uzlabotu piegādes ķēdes vadības efektivitāti. Piegādes ķēžu vadības zinātne attīstās, tiek ieviestas jaunas tehnoloģijas un tiek piedāvāti jauni paņēmieni un risinājumi. Lai gan daudzāģentu sistēmas lietošana piegādes ķēdes vadībai nav jaunievedums, tomēr tas ir joprojām aktuāls uzdevums, it īpaši piedāvājot atkārtotu lietošanas iespēju.

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt pieeju daudzāģentu sistēmas izveidošanai, kas nodrošina piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanu. Izstrādātā pieeja ļauj izveidot daudzāģentu sistēmu, kuru var izmantot dažādi piegādes ķēdes dalībnieki, jo tajā tiek apskatīti piegādes ķēdes galvenie procesi un risināmie uzdevumi. Izveidotajā daudzāģentu sistēmā tiek izmantotas krājumu vadības metodes: tiek izmantoti prognozēšanas algoritmi, veikta ABC analīze, noteikti krājumu papildināšanas punkti, kā arī tiek lietota ražošanas plānošana un pārplānošana kopējā ražošanas laika samazināšanai.

Promocijas darba izstrādes laikā tika analizēti galvenie efektivitātes rādītāji un tika atlasīti rādītāji, pēc kuriem tika pārbaudīta izstrādātās daudzāģentu sistēmas efektivitāte. Tika izpētītas jau pastāvošās piegādes ķēdes vadības daudzāģentu sistēmas un to atkārtotas lietošanas iespējas, un tika secināts ka nepastāv daudzāģentu sistēma, kas atbilst visām prasībām, un ir jāizstrādā daudzāģentu sistēma, kuru varētu izmantot dažādi piegādes ķēdes dalībnieki. Balstoties uz veikto pētījumu par piegādes ķēdes risināmiem uzdevumiem tika piedāvāts izveidot āģentus, kas aptver galvenās darbības katrā piegādes ķēdes mezglā un tika izvēlēts sazināšanās līdzeklis starpmezglu mijiedarbībai. Rezultātā tika izstrādāta daudzāģentu sistēma ar iespējām to pilnveidot vai modificēt, ja šāda nepieciešamība radīsies: jaunu āģentu vai rādītāju ieviešana, vai otrādi: āģentu izņemšana no daudzāģentu sistēmas. Šī daudzāģentu sistēma tika aprobēta uz reālā uzņēmuma datiem un tika novērtēta ar efektivitātes rādītājiem. Izstrādātās daudzāģentu sistēmas praktiskās lietošanas rezultāti liecina par tās efektivitāti.

Darba apjoms - 161 lpp., 65 attēli, 50 tabulas un 4 pielikumi.

DEVELOPMENT OF A MULTI-AGENT SYSTEM FOR SUPPLY CHAIN
MANAGEMENT PERFORMANCE IMPROVEMENT

Darya Plinere

Abstract

The doctoral thesis is dedicated to the development of the multi-agent system aimed at improving the efficiency of supply chain management. Supply chain management science is constantly evolving; new technologies are being introduced and new supply chain techniques and solutions are being offered. Although the application of multi-agent systems in supply chain management is not an innovation, it is still a topical research, especially in terms of re-use.

The aim of the doctoral thesis is to develop an approach to the multi-agent system development that ensures the improvement of supply chain management efficiency. The developed approach allows creating a multi-agent system that can be used for various supply chain participants, as it reviews main supply chain processes and tasks to be solved. Various inventory management methods were used in the developed multi-agent system: forecasting algorithms, ABC analysis, and inventory replenishment point determination. Production scheduling and rescheduling were also used in the multi-agent system to reduce the total production time.

During the development of the doctoral thesis, main efficiency indicators were analysed and indicators to test the efficiency of the developed multi-agent system were selected. Existing multi-agent systems for supply chain management and their reusability were investigated. It was concluded that there is no multi-agent system that covers all requirements and a multi-agent system needs to be developed that could be applied to different participants in the supply chain. As a result of the research on the supply chain tasks, it was proposed to create agents that cover main activities in each supply chain node, and the means of communication between nodes was chosen. The developed multi-agent system can be expanded with new agents or efficiency indicators if needed, or vice versa, agents that are not necessary can be removed from the multi-agent system. This multi-agent system was approbated on real company data and evaluated with efficiency indicators. The results of the practical application of the developed multi-agent system have proved its efficiency.

The work contains 161 p., 65 figures, 50 tables and 4 appendixes.

SAĪSINĀJUMU ATŠIFRĒJUMS

Saīsinājums	Saīsinājuma atšifrējums	Tulkojums
ACL	Agent Communication Language	Aģentu saziņas valoda
APS	Advanced Planning and Scheduling	Progresīvā plānošana
EDI	Electronic Data Interchange	Elektroniskā datu apmaiņa
ERM	Enterprise Risk Management	Uzņēmuma risku pārvaldība
ERP	Enterprise Resource Planning	Uzņēmuma resursu plānošanas sistēma
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agents	Intelektisko fizisko aģentu fonds
JADE	Java Agent DEvelopment framework	
JESS	Java Expert System Shell	
OEE	Overall Equipment Effectiveness	Vispārējā aprīkojuma efektivitāte
RFID	Radio Frequency Identification	Radiofrekvenču identifikācija
SCOR model	Supply Chain Operations Reference model	Piegādes ķēdes darbības atsaucis modelis
SCM	Supply Chain Management	Piegādes ķēdes vadība
UML	Unified Modeling Language	Vienotā modelēšanas valoda

SATURS

IEVADS	13
Piegādes ķēdes vadības zinātnes attīstība.....	13
Tēmas aktualitāte.....	14
Darba mērķis un uzdevumi	15
Aizstāvēšanai izvirzītās hipotēzes	15
Pētījuma objekts un priekšmets.....	15
Darbā izmantotās pētījumu metodes	15
Darba zinātniskais jaunieguvums.....	16
Darba praktiskā nozīmība.....	16
Darba aprobācija	16
Darba struktūra un apjoms	19
1. PIEGĀDES ĶĒDES VADĪBA UN TĀS EFEKTIVITĀTES UZLABOŠANAS METODES.....	21
1.1. Piegādes ķēdes vadības pamati un galvenie jēdzieni.....	21
1.1.1. Piegādes ķēdes vadības definīcijas	21
1.1.2. Piegādes ķēdes vadības posmi un to uzdevumi	23
1.1.3. Piegādes ķēdes makro procesi un virzītājspēki.....	24
1.1.4. Plānošana piegādes ķēdē.....	25
1.1.5. Piegādes ķēdes vadības attīstība un iespējami riski.....	27
1.2. Esošo piegādes ķēdes vadības veikspējas uzlabošanas tehnoloģiju analīze	28
1.2.1. Objektu izvietošanas uzdevums	30
1.2.2. Imitācijas modelēšanas lietošana	30
1.2.3. LEAN ražošanas procesa metodoloģijas lietošana	30
1.2.4. Programmatūras aģentu lietošana	31
1.2.5. Secinājumi par eksistējošiem pētījumu virzieniem.....	32
1.3. Eksistējošo daudzāģentu sistēmu apskats	33
1.3.1. Daudzāģentu sistēmas arhitektūras izveidošanas uzdevums	33
1.3.2. Elastīgās un dinamiskās piegādes ķēdes konfigurācija.....	34
1.3.3. Daudzāģentu sistēmas izveidošana piegādes ķēdes vadības konkursiem.....	34
1.3.4. Informācijas dalīšanas analīze divešelonu piegādes ķēdē.....	35
1.3.5. Daudzāģentu sistēmas izveidošana uzņēmumam	36
1.4. Prasības daudzāģentu sistēmai piegādes ķēdes vadībai	37
1.5. Izstrādājamās sistēmas veikspējas mērīšana un tās rādītāji.....	38
1.6. Nodaļas apkopojums un secinājumi.....	40

2.	DAUDZAĢENTU SISTĒMAS PAMATI UN AĢENTU ĪPAŠĪBAS.....	41
2.1.	Aģenta definīcija un klasifikācija	41
2.1.1.	Aģenta un daudzāģentu sistēmas definīcijas.....	41
2.1.2.	Aģentu klasifikācija	42
2.2.	Mijiedarbība starp aģentiem daudzāģentu sistēmā	46
2.2.1.	Tāfeles sistēma.....	46
2.2.2.	Ontoloģija kā līdzeklis aģentu saziņai	48
2.2.3.	Autores secinājums par aģentu sazināšanās veida izvēli	54
2.3.	Aģentu izstrādāšanas ietvaru analīze	54
2.4.	Nodaļas apkopojums un secinājumi.....	55
3.	DAUDZAĢENTU SISTĒMAS IZSTRĀDĀŠANA PIEGĀDES ĶĒDES VADĪBAS EFEKTIVITĀTES PAAUGSTINĀŠANAI.....	56
3.1.	Pieejas izstrādāšana daudzāģentu sistēmas izveidošanai	56
3.1.1.	Izstrādātās daudzāģentu sistēmas konceptuālais modelis	56
3.1.2.	Aģentu daudzuma noteikšana	59
3.2.	Pārdošanas aģenta izstrādāšana.....	61
3.2.1.	Pārdošanas aģenta mērķis un uzdevums	61
3.2.2.	Pārdošanas aģenta uzvedības apraksts	61
3.3.	Ražošanas aģenta izstrādāšana.....	63
3.3.1.	Ražošanas aģenta mērķis un uzdevumi.....	63
3.3.2.	Ražošanas aģenta darbības algoritms.....	64
3.3.3.	Ražošanas aģenta ražošanas plānošanas algoritms	64
3.3.4.	Ražošanas pasūtījumu ienākšana dažādos laika momentos.....	68
3.4.	Krājumu vadības aģenta izstrādāšana	68
3.4.1.	Krājumu vadības uzdevums	68
3.4.2.	Krājumu vadības aģenta uzvedības apraksts.....	69
3.5.	Iepirkuma aģenta izstrādāšana	76
3.5.1.	Izejvielu iepirkšanas uzdevums	76
3.5.2.	Iepirkuma aģenta darbības algoritms	76
3.6.	Ontoloģiju izstrādāšana.....	79
3.6.1.	<i>RažotājaPiegādātāja</i> ontoloģijas izstrādāšana.....	80
3.6.2.	<i>RažotājaPircēja</i> ontoloģijas izstrādāšana	81
3.7.	Saskarnes izstrādāšana sākotnējo datu ievadīšanai daudzāģentu sistēmā.....	82
3.8.	Daudzāģentu sistēmas arhitektūras izstrādāšana.....	83
3.8.1.	Uzdevuma joma un integrācijas prasības.....	83

3.8.2.	Daudzaģentu sistēmas infrastruktūra	84
3.8.3.	Izstrādātās daudzaģentu sistēmas ierobežojumi.....	85
3.9.	Daudzaģentu sistēmas izveidošana pēc izstrādātās pieejas	86
3.10.	Nodaļas apkopojums un secinājumi.....	86
4.	IZSTRĀDĀTĀS DAUDZAĢENTU SISTĒMAS ATTĪSTĪŠANA.....	88
4.1.	Jauna aģenta ieviešana daudzaģentu sistēmā	88
4.1.1.	Transportēšanas aģenta mērķis un uzdevums	88
4.1.2.	Uzvedības apraksts Transportēšanas aģentam	91
4.1.3.	Transportēšanas aģenta izstrādāšana JADE programmatūrā	93
4.1.4.	Transportēšanas aģenta darbības rezultāts	94
4.2.	Jauna efektivitātes rādītāja ieviešana daudzaģentu sistēmā.....	94
4.3.	Aģenta izņemšana no daudzaģentu sistēmas	95
4.4.	Izstrādātās daudzaģentu sistēmas lietošanas apraksts.....	97
4.5.	Nodaļas apkopojums un secinājumi.....	99
5.	IZSTRĀDĀTĀS DAUDZAĢENTU SISTĒMAS IZMANTOTOŠANA	100
5.1.	Izstrādātās daudzaģentu sistēmas aprobācija ražošanas uzņēmumā	100
5.1.1.	Uzņēmuma problēmas nostādne un datu specifikācija	100
5.1.2.	Eksistējošās situācijas analīze	100
5.1.3.	Pieejamo ieejas datu specifikācija.....	101
5.1.4.	Daudzaģentu sistēmas izveidošana, balstoties uz piedāvāto lietošanas aprakstu	102
5.2.	Daudzaģentu sistēmas darbības realizācija un analīze.....	105
5.2.1.	Krājumu vadības aģenta lietošana.....	106
5.2.2.	Ražošanas aģenta lietošana	109
5.2.3.	Pārdošanas aģenta lietošana	110
5.2.4.	Iepirkuma aģenta lietošana.....	112
5.2.5.	Starpmezglu aģentu mijiedarbība.....	114
5.3.	Eksperimentu plāns	114
5.3.1.	Dažādu pircēju pieprasījumu apstrāde	115
5.3.2.	Izvēle starp dažādiem piegādātājiem	116
5.3.3.	Daudzaģentu sistēmas darbība pirmā mēneša laikā un tās analīze	119
5.3.4.	Daudzaģentu sistēmas darbība otrā mēneša laikā un tās analīze	122
5.3.5.	Daudzaģentu sistēmas darbība trešā mēneša laikā un tās analīze.....	129
5.3.6.	Papildu eksperiments daudzaģentu sistēmas darbības pārbaudei	136
5.4.	Izstrādātās sistēmas lietošanas efektivitātes mērīšana	138

5.4.1.	Kopējais ražošanas laiks	138
5.4.2.	Krājumu uzglabāšanas izmaksas.....	138
5.4.3.	Pircēju pieprasījumu apstrādes laiks	140
5.4.4.	Servisa līmenis	140
5.5.	Nodaļas apkopojums un secinājumi.....	140
PROMOCIJAS DARBA REZULTĀTU ANALĪZE UN SECINĀJUMI.....		141
IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS		144
PIELIKUMI		152
1.	pielikums. A* algoritma piemērs	153
2.	pielikums. Aģentu programmas kodi	155
3.	pielikums. Izziņa par promocijas darba rezultātiem.....	158
4.	pielikums. Autora ieguldījums zinātniskajās publikācijās	159

ATTĒLU SARAKSTS

1.1. att. Piegādes ķēdes tīkls.....	21
1.2. att. Lineārā piegādes ķēde un tās plūsmas.....	22
2.1. att. Aģentu tipi [54].....	43
2.2. att. Vienkāršie refleksiīvie aģenti [76].	43
2.3. att. Modelī balstīti refleksiīvie aģenti [76].	44
2.4. att. Modelī un mērķī balstīti aģenti [76].	44
2.5. att. Lietderībā balstīti aģenti [76].	45
2.6. att. Aģenti ar apmācības iespējām [76].	45
2.7. att. <i>JessTab</i> likumu rezultāts <i>Protégé</i> 3.4 beta rīkā [67].	53
3.1. att. Daudzaģentu sistēmas izstrādāšanas pieeja.....	57
3.2. att. Starpmezglu mijiedarbība ar ontoloģiju palīdzību.	57
3.3. att. Informācijas koplietošana starp viena mezgla aģentiem.	58
3.4. att. Izstrādājamās daudzaģentu sistēmas galvenie komponenti	58
3.5. att. Daudzaģentu sistēmas jaunā gadījuma izstrādāšanas apraksts.	59
3.6. att. Daudzaģentu sistēmas izstrādāšanas sākumposms.	60
3.7. att. Izstrādātās daudzaģentu sistēmas aģenti.	61
3.8. att. Pārdošanas un Pircēja aģentu mijiedarbības <i>UML</i> diagrama.	62
3.9. att. Ražošanas aģenta veiktā ražošanas plānošana divu tipu izstrādājumiem	66
3.10. att. Ražošanas aģenta piedāvātā ražošanas secība.....	67
3.11. att. Prognozēšanas metožu rezultāti vienam mēnesim.	72
3.12. att. Ekonomiskā pasūtījuma daudzums – Atkārtotā pasūtīšanas punkta politika.....	74
3.13. att. Periodiskās pārskatīšanas krājumu politika.....	74
3.14. att. Izvēles papildināšanas politika.....	75
3.15. att. <i>UML</i> diagramma.	78
3.16. att. Divu aģentu sazināšanās <i>JADE</i> ietvarā – pirmais pasūtījums.....	78
3.17. att. Divu aģentu sazināšanās <i>JADE</i> ietvarā – otrais pasūtījums.....	79
3.18. att. Ontoloģiju izveidošana saziņai starp piegādes ķēdes mezgliem.....	80
3.19. att. <i>RažotājaPiegādātāja</i> ontoloģijas izstrādāšana <i>Protégé</i> 3.4 beta.	81
3.20. att. <i>RažotājaPircēja</i> ontoloģijas izstrādāšana izmantošanai <i>JADE</i> ietvarā.	81
3.21. att. Domēna ontoloģijas reprezentācija lietotāja saskarnē.	83
3.22. att. Pircēja un Pārdošanas aģentu mijiedarbība izstrādātajā daudzaģentu sistēmā <i>JADE</i> ietvarā.....	85
3.23. att. Darba datora aprīkojums.	86

3.24. att. Izstrādātās daudzāģentu sistēmas galīgais izskats.....	86
4.1. att. Īsākā ceļa atrašanas uzdevums.	90
4.2. att. Ražošanas uzņēmuma noliktavas un ražošanas iecikņi.....	92
4.3. att. Iespējamie ceļi līdz nākamajam punktam.	92
4.4. att. Ātrākais ceļš no izejvielu noliktavas līdz gatavās produkcijas noliktavai.	93
4.5. att. Transportēšanas aģenta izskats JADE ietvarā.	94
4.6. att. A* algoritma darbības rezultāts.....	94
4.7. att. Daudzāģentu sistēmas lietošana starpnieka gadījumā.....	96
4.8. att. Daudzāģentu sistēmas izskats <i>JADE</i> programmatūrā pēc Ražošanas un Krājumu vadības aģentu izslēgšanas.....	97
4.9. att. Nepieciešamā aģentu skaita noteikšanas procedūra.....	98
5.1. att. Produkcijas krājumu līmeņi.	101
5.2. att. Aģentu daudzuma izvēle atbilstoši uzņēmuma vajadzībām.....	102
5.3. att. Lietotāja saskarnes aizpildīšana.	103
5.4. att. Daudzāģentu sistēma ražošanas uzņēmumam.....	105
5.5. att. Ražošanas pasūtījums.....	109
5.6. att. Ražošanas secība divām produkcijām (fragments).	110
5.7. att. Pircēja pasūtījuma iesniegšana JADE ietvarā.	110
5.8. att. Pārdošanas un Pircēja aģentu mijiedarbība JADE ietvarā (saīsināts).	111
5.9. att. Iepirkuma aģenta pasūtījums Piegādātāja aģentam JADE ietvarā.	113
5.10. att. Iepirkuma un Piegādātāja aģentu mijiedarbība JADE ietvarā (saīsināts).	113
5.11. att. Starpmezglu mijiedarbība JADE ietvarā (saīsināts).....	114
5.12. att. Pirmā eksperimenta sākums.	115
5.13. att. Dažādu pircēju vienlaicīgas apkalpošanas eksperiments.	115
5.14. att. Eksperimenta pirmais rezultāts – pirmā pieprasījuma apstrāde (saīsināts).....	116
5.15. att. Aģentu mijiedarbība pasūtījuma apstrādes laikā (saīsināts).	116
5.16. att. Otrā eksperimenta sākums.	117
5.17. att. Nepieciešamo izejvielu pieprasījuma izveide piegādātājiem.....	117
5.18. att. Izejvielu pieprasījumu apstrāde (saīsināts).	118
5.19. att. Iepirkuma aģenta pieprasījuma apstrāde.	118
5.20. att. Iepirkuma aģenta izejvielu pieprasījuma izveide ar piegādes laika prioritāti.	119
5.21. att. Vairāku pieprasījumu saņemšana no pircēja.	126
5.22. att. Krājumu daudzuma salīdzinājums 3 mēnešu darbības laikā.....	139
5.23. att. Krājumu daudzuma salīdzinājums 8 mēnešu darbības laikā.....	139

TABULU SARAKSTS

1.1. tabula. Piegādes ķēdes vadības posmi un to uzdevumi	23
1.2. tabula. Piegādes ķēdes veiktspējas uzlabošanas tehnoloģijas	29
1.3. tabula. Mērķa sasniegšanas soļi LEAN metodoloģijā.....	31
1.4. tabula. Eksistējošo pētījumu virzienu analīze	32
1.5. tabula. Iepriekšējā apakšnodaļā aprakstīto daudzāģentu sistēmu analīze	37
1.6. tabula. Veiktspējas mērīšanas rādītāji	39
1.7. tabula. Piegādes ķēdes veiktspējas rādītāji un to kritēriji.....	39
2.1. tabula. Tāfeles sistēmas lietošanas priekšrocības un to apraksti.....	47
2.2. tabula. Precizitāte un atsauksana piecām ontoloģijām pēc šīs novērtēšanas pieejas	51
2.3. tabula. Levenšteina attāluma metode	51
2.4. tabula. Pieejas rezultāts ar iepriekšdefinētiem ontoloģijas novērtēšanas kritērijiem	52
2.5. tabula. <i>JessTab</i> likuma piemērs	53
3.1. tabula. Piegādes ķēdes funkciju sadalīšana aģentos.....	60
3.2. tabula. Ražošanas tehnoloģiskā secība.....	65
3.3. tabula. Ražošanas secība vienāda tipa produkcijai.....	65
3.4. tabula. Ražošanas secību dažādība.....	66
3.5. tabula. Dažādas ražošanas secības	67
3.6. tabula. ABC analīze.....	70
3.7. tabula. ABC analīzes piemērs	71
3.8. tabula. Preču papildināšanas politikas rezultāti (fragments).....	75
3.9. tabula. Integrācijas prasības	84
4.1. tabula. Izrēķinātā OEE rādītāja rezultāta apraksts	95
4.2. tabula. Daudzāģentu sistēmas prasības	96
5.1. tabula. Iepriekšējo pārdošanas apjomu dati (fragments).....	103
5.2. tabula. Krājumu daudzums pētījuma sākotnējā punktā.....	104
5.3. tabula. Pieprasījums pētījuma pirmajam mēnesim.....	104
5.4. tabula. Gatavās produkcijas un ražošanā esošās produkcijas saskaitīšanas rezultāts	106
5.5. tabula. Pirmie ABC analīzes rezultāti pēc daudzāģentu sistēmas palaišanas (fragments)	107
5.6. tabula. A klases produkcijas krājumu daudzums	108
5.7. tabula. Pasūtījumu prognozēšanas, drošības krājumu, pasūtīšanas punktu rezultāti A klases produkcijai	108

5.8. tabula. Pasūtītās produkcijas krājumu līmenis un pieprasījums.....	111
5.9. tabula. Saražojamās produkcijas saraksts.....	112
5.10. tabula. Saražotās produkcijas daudzums 1. mēnesī.....	120
5.11. tabula. Pirmā mēneša darbības rezultātu salīdzinājums	120
5.12. tabula. Pirmā mēneša rezultātu salīdzinājums.....	122
5.13. tabula. Krājumu daudzums daudzāģentu sistēmas darbības rezultātā pēc 1. mēneša ...	122
5.14. tabula. ABC analīzes rezultāts (A klasei).....	124
5.15. tabula. Prognozētais pieprasījums otrajam mēnesim	124
5.16. tabula. Saražotās produkcijas daudzums 2. mēnesī.....	125
5.17. tabula. Pieprasījums otrajam mēnesim	126
5.18. tabula. Otrā mēneša darbības rezultātu salīdzinājums	127
5.19. tabula. Pirmo divu mēnešu darbības rezultāti	129
5.20. tabula. Krājumu daudzums daudzāģentu sistēmas divu mēnešu darbības rezultātā	130
5.21. tabula. ABC analīzes rezultāts (A klasei).....	132
5.22. tabula. Prognozētais pieprasījums	132
5.23. tabula. Saražotās produkcijas daudzums trešajā mēnesī	133
5.24. tabula. Pieprasījums trešajam mēnesim	133
5.25. tabula. Trešā mēneša darbības rezultātu salīdzinājums.....	134
5.26. tabula. Daudzāģentu sistēmas un cilvēka darbības rezultātu salīdzinājums	136
5.27. tabula. ABC analīzes rezultāts	137
5.28. tabula. Daudzāģentu sistēmas un cilvēka darbības rezultātu salīdzinājums	138

IEVADS

Piegādes ķēdes vadības zinātnes attīstība

Vārdu savienojums “piegādes ķēde” pirmo reizi minēta 1905. gadā “*The Independent*” laikrakstā par kara laika situāciju. Piegādes ķēdes evolūcija sākās ar salīdzinoši vienkārša procesa uzlabošanu. Fredriks Teilers, kas 1911. gadā uzrakstīja “Zinātniskās vadības principi”, savos agrīnajos pētījumos koncentrējies uz manuālu iekraušanas procesu uzlabošanu. 1940. un 1950. gados pētījumi tika veltīti mehanizācijas izmantošanai, lai uzlabotu ļoti darbietilpīgus materiālu apstrādes procesus un to, kā labāk izmantot telpu, izmantojot plauktu un noliktavu izkārtojumu. Līdz 1960. gadiem bija vērojama skaidra tendence no laika atkarīgu kravu pārvadājumus novirzīt uz autopārvadājumiem, nevis dzelzceļu. Tas radīja nepieciešamību kopīgi apsvērt noliktavas, materiālu apstrādi un kravu pārvadājumus, kurus sāka definēt ar „fiziskās izplatīšanas” jēdzienu. Darījumu un uzskaites datorizācija pavēra lielas iespējas inovācijām loģistikas plānošanā: no nejaušās uzglabāšanas noliktavā līdz krājumu un kravas automašīnu maršrutēšanas optimizācijai. 1980. gadi iezīmējās ar būtisku pārmaiņu sākumu piegādes ķēdes vadības vēsturē. Personālo datoru parādīšanās 1980. gadu sākumā sniedza plānotājiem piekļuvi datoriem un jaunu grafisko vidi plānošanai. Tas veicināja jaunu tehnoloģiju rašanos, tostarp pielāgojamas elektroniskās tabulas un saskarnes ar karti, kas sniedza milzīgus uzlabojumus loģistikas plānošanas un izpildes tehnoloģijās. Ražošanas un izplatīšanas pētījumu centrs (*The Production and Distribution Research Center*) bija pirmais inovāciju līderis, apvienojot kartes saskarnes ar piegādes ķēdes projektēšanas un izplatīšanas plānošanas optimizācijas modeļiem. Materiālu apstrādes centrs (*The Material Handling Research Center*) nodrošināja vadošo lomu jaunu vadības tehnoloģiju izstrādē materiālu apstrādes automatizācijai. Skaitļošanas optimizācijas centrs (*The Computational Optimization Center*) izstrādāja jaunus liela mēroga optimizācijas algoritmus, kas ļāva risināt iepriekš neatrisināmas aviosabiedrību plānošanas problēmas. Liela daļa no metodoloģijām, kas tika izstrādātas šajos centros, tika strauji adaptētas komerciālām tehnoloģijām. Loģistikas uzplaukumu 1990. gados vēl vairāk veicināja uzņēmumu resursu plānošanas (*ERP*) sistēmu izveide. Šīs sistēmas izstrādi daļēji motivēja 1970. un 1980. gados izstrādāto materiālu prasību plānošanas sistēmu panākumi, daļēji ar vēlmi integrēt daudzās datu bāzes, kas pastāvēja gandrīz visos uzņēmumos un reti “runāja” viena ar otru, un daļēji ar bažām, ka pastāvošās sistēmas nespēs apstrādāt 2000. gada datumu. Neskatoties uz būtiskām problēmām, kas saistītas ar *ERP* sistēmu uzstādīšanu un darbību, līdz 2000. gadam lielākā daļa lielo uzņēmumu izmantoja *ERP* sistēmas. Šīs izmaiņas *ERP* sistēmās bija milzīgs datu pieejamības un precizitātes uzlabojums. Jaunā *ERP* programmatūra arī ievērojami palielināja nepieciešamību pēc labākas plānošanas un integrācijas starp loģistikas komponentiem. Rezultāts bija jaunās paaudzes „*Advanced Planning and Scheduling*” (*APS*) programmatūra. Terminu „piegādes ķēde” plaši atzina galvenokārt tāpēc, ka kopš 1990. gadu vidus ir notikusi ražošanas globalizācija, ko īpaši sekmēja Ķīnas ražošanas pieaugums. Uzsvars uz globalizāciju akcentēja nepieciešamību pēc loģistikas stratēģijām, kas darbotos ar sarežģītiem

tīkliem, tostarp vairākām struktūrām, kas aptver vairākas valstis ar daudzveidīgu kontroli. Pieaug tendence izmantot terminu „piegādes ķēdes vadība”, lai atsauktos uz stratēģiskiem jautājumiem un loģistiku – taktiskiem un operatīviem jautājumiem. Šī arvien pieaugošā piegādes ķēdes vadības asociācija ar stratēģiju atspoguļojas loģistikas vadības padomē (*Council of Logistics Management's*), nomainot nosaukumu uz Piegādes ķēdes vadības profesionāļu padomi (*Council of Supply Chain Management Professionals*) 2005. gadā. Viņi norāda uz atšķirību terminus: „loģistika ir tā piegādes ķēdes procesa daļa, kas plāno, īsteno un kontrolē efektīvu virzību uz priekšu un atpakaļ, un preču, pakalpojumu un saistītās informācijas uzglabāšanu starp izcelsmes un patēriņa punktiem, lai apmierinātu klientu prasības, savukārt „piegādes ķēdes vadība” ir sistēmiska, stratēģiska tradicionālo biznesa funkciju un šo biznesa funkciju taktikas koordinācija konkrētā uzņēmumā un visos piegādes ķēdes uzņēmumos, lai uzlabotu ilgtermiņa darbību atsevišķajā uzņēmumā un piegādes ķēdes darbību kopumā” [72].

Tēmas aktualitāte

Piegādes ķēdes vadības akadēmiskie un nozares pētījumi notiek arī mūsdienās. Daži pētījumi ir veltīti jaunas stratēģijas izstrādei, kas varētu palielināt peļņu vai samazināt izmaksas; citi cenšas veidot jaunus piegādes ķēdes vadības virzienus. Visu šo pētījumu mērķis ir uzlabot esošo piegādes ķēdi un tās efektivitātes rādītājus.

Mūsdienās tikai daži uzņēmumi veic piegādes ķēdes vadības uzlabošanas pētījumus, izmantojot iegūtos rezultātus un to priekšrocības. Viņu piegādes ķēdes vadības izmaiņas nemaina vai neietekmē citus piegādes ķēdes dalībniekus. Piegādes ķēdes vadības uzlabošana, kas var savienot dažādus piegādes ķēdes dalībniekus un uzlabot kopīgus un atsevišķus veiktspējas rādītājus joprojām ir aktuāls uzdevums.

Mūsdienu dinamiski mainīgajos apstākļos jāspēj laikus reaģēt uz piegādes ķēdes procesu izmaiņām. Programmatūras aģentu(-us) veiksmīgi lieto piegādes ķēdes vadības uzdevumos ar dažādiem mērķiem. Aģentu uzvedību nosaka to izstrādāšanas mērķis, un aģentu lietošanas efektivitāte tiek apskatīta atbilstoši to izstrādāšanas mērķiem. Ja aģentu daudzums ir vairāk par vienu, tad izstrādāšanas laikā jādefinē aģentu sazināšanās veids.

Neskatoties uz pieejamām daudzāģentu sistēmām [28, 29, 37, 77, 100], aģentu lietošana piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanai joprojām ir aktuāla problēma. Izstrādātajai sistēmai ir jābūt pielāgojamai dažādiem lietojumiem, un jābūt iespējai papildināt eksistējošās sistēmas.

Promocijas darbā veikts pētījums par daudzāģentu sistēmas izstrādi piegādes ķēdes vadības efektivitātes radītāju uzlabošanai, ko var izmantot dažādi piegādes ķēdes dalībnieki, pievēršot lielāko uzmanību daudzāģentu sistēmas izstrādāšanas soļiem. Vienam no pirmajiem soļiem ir jābūt aģentu daudzuma noteikšanai un jaunu aģentu iekļaušanai, ja šāda nepieciešamība radīsies nākotnē, kā arī ir jāanalizē aģentu savstarpējais sazināšanās veids: ar “blackboard” sistēmas palīdzību, ontoloģiju vai sazinoties caur vidi. Promocijas darbā ir veikts pētījums par iespējamiem sazināšanās veidiem, pievēršot lielāku uzmanību ontoloģijas izstrādāšanai un tās validācijai.

Promocijas darbā arī izpētīts piegādes ķēdes efektivitātes rādītāju saraksts, ar ko pārbauda lietošanas efektivitāti.

Darba mērķis un uzdevumi

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt pieeju daudzāģentu sistēmas izveidošanai, kas nodrošina piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanu. Mērķa sasniegšanai ir definēti vairāki uzdevumi:

1. Izanalizēt un atlasīt piegādes ķēdes vadības efektivitātes rādītājus, kas pārklāj piegādes ķēdes uzdevumus, sistēmas efektivitātes pārbaudei;
2. Izpētīt daudzāģentu sistēmas, to izmantošanu piegādes ķēdes vadībai un atkārtotu lietošanu;
3. Izstrādāt daudzāģentu sistēmas arhitektūru, kas piemērota katram piegādes ķēdes mezglam, nodrošinot piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanu;
4. Izveidot atkārtoti lietojamu daudzāģentu sistēmu un aprobēt to, izmantojot reāla uzņēmuma datus;
5. Eksperimentāli pierādīt izstrādātās daudzāģentu sistēmas lietošanas efektivitāti, izmantojot atlasītos piegādes ķēdes efektivitātes rādītājus.

Aizstāvēšanai izvirzītās hipotēzes

Daudzāģentu sistēmas izveidošanas pieejas izstrādes gaitā ir izvirzītas šādas hipotēzes:

1. informācijas koplietošana daudzāģentu sistēmās spēj paātrināt daudzāģentu sistēmas darbību, izmantojot arī cita aģenta darbībai nepieciešamo informāciju vai tā rezultātus.
2. ontoloģijas izmantošana nodrošina daudzāģentu sistēmas atkārtotu lietošanu, izveidojot daudzāģentu sistēmas veidni piegādes ķēdes vadībai.

Pētījuma objekts un priekšmets

Promocijas darba pētījuma objekts ir piegādes ķēdes vadības efektivitātes rādītāju uzlabošanas sistēma.

Pētījuma priekšmets ir daudzāģentu sistēma ar ontoloģijām un informācijas koplietošanu.

Darbā izmantotās pētījumu metodes

Promocijas darbā ir izmantoti programmatūras aģenti, piedāvāts atspoguļot katru piegādes ķēdes mezglu ar vienādu aģentu kopumu. Aģentu uzvedību nosaka piegādes ķēdes darbības, piedāvājot piegādes ķēdes efektivitātes rādītāju uzlabošanu. Promocijas darbā izmantotas vairākas piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanas metodes, piemēram:

- krājumu vadība,
- ražošanas plānošana.

Lai uzlabotu krājumu vadību, aģents apstrādā pieejamo informāciju par iepriekšējiem periodiem un izmanto ABC analīzi un prognozēšanas algoritmus nākotnes pasūtījumiem, kā

arī veido papildināšanas politiku. Ražošanas uzlabošanai tiek piedāvāts izmantot ražošanas grafiku, tas ir, ražošanas secību, kas samazina kopējo ražošanas laiku, tādējādi samazinot ražošanas izmaksas. Sadarbība starp piegādes ķēdes mezgliem tiek īstenota, izmantojot ontoloģijas. Saziņa starp aģentiem vienā mezglā tiek īstenota, izmantojot datu un zināšanu koplietošanu, līdzīgi kā tas ir “blackboard” sistēmās.

Darba zinātniskais jaunieguvums

Promocijas darba zinātniskie jaunieguvumi un sasniegumi balstās esošo metožu analīzē un jaunievedumu piedāvājumos. Zinātniskie jaunieguvumi un galvenie sasniegumi ir šādi:

1. izstrādātā daudzāģentu sistēmas izveidošanas pieeja, kas ļauj to izmantot dažādiem piegādes ķēdes dalībniekiem un nodrošina piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanu. Šī pieeja nodrošina:
 - daudzāģentu sistēmas atkārtotu lietošanu, izmantojot izstrādāto saskarni ražošanas procesu aprakstīšanai,
 - piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanu, izmantojot izstrādātos aģentus, kas ietver algoritmus, kas uzlabo sistēmas veiktspēju;
2. piedāvāts hibrīds aģentu sazināšanās veids: informācijas koplietošana viena mezgla aģentiem, šādi samazinot saziņas nepieciešamību, un ontoloģijas izmantošana starpmezglu aģentu mijiedarbībai.

Pētījuma gaitā ir sasniegti arī citi starprezultāti: izpētīti piegādes ķēdes vadības efektivitātes rādītāji, veikta aģentu sazināšanās līdzekļu analīze, izanalizētas pastāvošās ontoloģijas validācijas metodes, izpētītas metodes, kas var uzlabot piegādes ķēdes vadības efektivitātes rādītājus, piedāvāti aģentu darbības algoritmi piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanai.

Darba praktiskā nozīmība

Izstrādātās daudzāģentu sistēmas izmantošana dažādiem piegādes ķēdes dalībniekiem, ko nodrošina izstrādātā pieeja, kas ļauj īstenot atkārtotu lietošanu un efektivitātes uzlabošanu, izmantojot:

- krājumu vadību, tādējādi samazinot krājumus un ar tiem saistītās uzglabāšanas izmaksas;
- ražošanas plānošanu un pārplānošanu, kas palīdz definēt efektīvu ražošanas laiku un ļauj samazināt ražošanas kopējo laiku, šādi samazinot ražošanas izmaksas;
- starpmezglu sazināšanos, kas paātrina starpmezglu mijiedarbību un nodrošina nepārtrauktu darbību.

Darba aprobācija

Par promocijas darba rezultātiem ziņots **14 starptautiskajās zinātniskajās konferencēs**, saņemot pozitīvu vērtējumu.

1. IEEE seminārs “The 7th IEEE Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering AIEEE’2019” (Latvija, 2019) ar referātu „Designing A Multi-Agent System For Improving Supply Chain Performance”.
2. RTU 58. starptautiskā zinātniskā konference (Latvija, 2017) ar referātu „Daudzaģentu sistēmas pielietošana piegādes ķēdes vadībai”.
3. RTU 57. starptautiskā zinātniskā konference (Latvija, 2016), ar referātu „Aģenta pielietošana ražošanas efektivitātes uzlabošanai”.
4. RTU 56. starptautiskā zinātniskā konference (Latvija, 2015), ar referātu „Krājumu vadības uzlabojums: praktiskais piemērs”.
5. Starptautiskā konference “Eighth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control” (Turcija, 2015), ar referātu „Agent System Application as a Tool for Inventory Management Improvement”.
6. RTU 55. starptautiskā zinātniskā konference (Latvija, 2014), ar referātiem „Development of Ontological Knowledge Model for Raw Materials Management Task” un „Evaluation of the Ontological Knowledge Model”.
7. RTU 52. starptautiskā zinātniskā konference (Latvija, 2011), ar referātu „A Negotiation-Based Multi-Agent System for Supply Chain Management”.
8. Starptautiskā konference “15th International Conference on Soft Computing, MENDEL’09” (Čehijas Republika, 2009), ar referātu „Ontology-Based Knowledge Acquisition System for Product Life Cycle Task”.
9. RTU 50. starptautiskā zinātniskā konference (Latvija, 2009), ar referātu „SWRL: Rule Acquisition Using Ontology”.
10. RTU 49. starptautiskā zinātniskā konference (Latvija, 2008)”, ar referātu „Blackboard Architecture Programming for Product Life Cycle Stage Definition”.
11. Starptautiskā konference “14th International Conference on Soft Computing, MENDEL’08”, ar referātu „Blackboard Architecture for Product Life Cycle Stage Definition”.
12. Zinātniskā ziemas skola “Estonian Winter School in Computer Science” (Igaunija, 2008), ar posteru.
13. RTU 48. starptautiskā zinātniskā konference (Latvija, 2007), ar referātu „An Overview of Blackboard Architecture Application for Real Tasks”.
14. RTU 47. starptautiskā zinātniskā konference (Latvija, 2006) ar referātu „Agents in Supply Chain Management: An Overview”.

Promocijas darba pamata rezultātus autore publicējusi **18 zinātniskajās publikācijās**, kas citētas 90 reizi:

1. Plinere, D., Aleksejeva, L., Merkurjev, Y. Multi-agent system development and application for supply chain management tasks. *Information Technology and Management Science*. 2021. (in press).

2. Plinere, D., Merkurjev, Y. Designing A Multi-Agent System For Improving Supply Chain Performance. In: A. Romanovs, D. Navakauskas, A. Senfelds (eds.) *Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE): Proceedings of the 7th IEEE Workshop, Liepaja, Latvia, 15–16 November, 2019*. IEEE, 2019, pp. 62–68. Indexed in: Scopus. Cited: 2.
3. Plinere, D., Aleksejeva, L. Production Scheduling in Agent-based Supply Chain for Manufacturing Efficiency Improvement. *Procedia Computer Science*. 2019, vol. 149, pp. 36–43. (ICTE in Transportation and Logistics 2018). Indexed in: Scopus, Web of Science. Cited: 8.
4. Plinere, D., Borisovs, A. Case Study on Inventory Management Improvement. *Information Technology and Management Science*. 2015, vol. 18, pp. 91–96. ISSN 2255-9086. e-ISSN 2255-9094. Available from: doi:10.1515/itms-2015-0014. Cited: 30.
5. Plinere, D., Aleksejeva, L. Agent System Application as a Tool for Inventory Management Improvement. In: *Proceedings of Eighth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control (ICSCCW-2015), Turkey, Antalya, 3–4 September, 2015*. b-Quadrat Verlag, 2015, pp. 157–166. Cited: 2.
6. Plinere, D., Borisov, A., Aleksejeva, L. Взаимодействие программных агентов в задаче согласования заказов. *Автоматика и вычислительная техника*. 2015, т. 49, № 5, с. 23–34. ISSN 0132-4160. Indexed in: Scopus, Web of Science, SpringerLink.
7. Plinere, D., Borisov, A., Aleksejeva, L. Interaction of Software Agents in the Problem of Coordinating Orders. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2015, vol. 49, no. 5, pp. 268–276. Indexed in: Scopus, Web of Science, SpringerLink. Cited: 5.
8. Plinere, D., Borisov, A. Development of Ontological Knowledge Model for Raw Materials Management Task. *Information Technology and Management Science*. 2014, vol. 17, pp. 61–65.
9. Plinere, D., Borisov, A. Evaluation of the Ontological Knowledge Model. *Information Technology and Management Science*. 2014, vol. 17, pp. 81–85. Cited: 2.
10. Плинере, Д. Интеллектуальность агентной системы для управления закупками и запасами в цепи поставок. In: *International Conference “Information Intelligent Systems”, Kharkiv, Ukraine, 17–19 April, 2012*. Vol.6, Kharkiv: 2012, pp. 148–149.
11. Plinere, D., Borisov, A. A Negotiation-Based Multi-Agent System for Supply Chain Management. *Information Technology and Management Science*. 2011, vol. 49, pp. 128–132. Cited: 3.
12. Plinere, D., Borisov, A. The Golden Section Task as a Tool of Ontology Logical Inference. In: *Proceedings of Ninth International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing (ICAFS-2010), Czech Republic, Prague, 26–27 August, 2010*. Kaufering: b-Quadrat Verlag, 2010, pp. 41–48.
13. Plinere, D., Borisov, A. Ontology-Based Knowledge Acquisition System for Product Life Cycle Task. In: *Mendel 2009: Proceedings of 15th International Conference on*

Soft Computing, Czech Republic, Brno, 24–26 June, 2009. Brno: Brno University of Technology, 2009, pp. 292–297. Indexed in: Scopus.

14. Plinere, D., Borisov, A. SWRL: Rule Acquisition Using Ontology. *Information Technology and Management Science*. 2009, vol. 40, pp. 117–122. Citēts: 13.
15. Plinere, D. Blackboard Architecture Programming for Product Life Cycle Stage Definition. *Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science*. 2008, vol. 35, issue 5, pp. 70–75.
16. Rudenko D., Borisov A. Blackboard Architecture for Product Life Cycle Stage Definition. In: R. Matoušek (ed.) *Mendel 2008: Proceedings of 14th International Conference on Soft Computing, Czech Republic, Brno, 18–20 June, 2008*. Brno: Brno University of Technology, 2008, pp. 252–257. ISBN: 978-80-214-3675-6. Cited: 1.
17. Rudenko D., Borisov A. An Overview of Blackboard Architecture Application for Real Tasks. *Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science*. 2007, vol. 31, issue 5, pp. 50–56. Citēts: 19.
18. Rudenko, D., Borisov, A. Agents in Supply Chain Management: An Overview. *Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science*. 2006, vol. 27, issue 5, pp. 123–133. Citēts: 5.

Promocijas darba izstrādes laikā autore piedalījās trīs zinātniskajos projektos.

1. Rīgas Tehniskās universitātes akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās (RTU PVS ID 3826, C3826.8.1.) (17.04.2020.–16.04.2021.).
2. LZP grants nr. 051639, “Intelektuālās datortehnoloģijas slikti formalizējamiem lēmumu pieņemšanas uzdevumiem”. Vadītājs prof. A. Borisovs (2005.–2008.).
3. IZM–RTU pētniecības projekts R 7391 “Informācijas saplūšana izkliedētās intelektuālajās sistēmās”. Vadītājs vad. pētnieks A. Vališevskis (1.03.2008.–31.12.2008.).

Darba struktūra un apjoms

Promocijas darbā ir ievads, piecas nodaļas, rezultātu analīze un secinājumi, literatūras saraksts un pielikumi. Darba teksts izklāstīts uz 161 lappusē un atspoguļots 65 attēlos un 50 tabulās. Literatūras sarakstā ir 105 atsauces.

Pirmā nodaļa veltīta piegādes ķēdes definīcijām, procesiem un uzdevumiem. Tajā ir aplūkotas dažādas iespējas uzlabot piegādes ķēdes darbību, to priekšrocības un trūkumi. Tā rezultātā piedāvāts izstrādāt daudzāģentu sistēmu, lai sasniegtu izpētes gaitā definētās prasības. Nodaļas beigās aprakstīti un analizēti piegādes ķēdes darbības efektivitātes rādītāji un to metrikas, pēc kurām tiks novērtēta izstrādātās daudzāģentu sistēmas lietošanas efektivitāte.

Otrajā nodaļā izpētīti aģenti un daudzāģentu sistēmas, aģentu mijiedarbības veidi, izanalizēti un novērtēti esošo daudzāģentu sistēmu lietošanas gadījumi. Nodaļas beigās aprakstīta *JADE* aģenta izstrāde.

Trešajā nodaļā aprakstīta pieejas izstrādāšana daudzāģentu sistēmas izveidošanai, aplūkoti izstrādāšanas soļi, daudzāģentu sistēmas arhitektūra un āģentu uzvedības algoritmi.

Ceturtnā nodaļā veltīta izstrādātās daudzāģentu sistēmas attīstībai. Nodaļā aprakstīta situācija, ja radīsies nepieciešamība jaunu āģentu ieviešanai sistēmā un/vai jaunu rādītāju iekļaušanai izstrādātajā daudzāģentu sistēmā. Nodaļas beigās apskatīta situācija, kad kāds no āģentiem nav nepieciešams un to ir jāizņem no sistēmas.

Piektajā nodaļā parādīta izstrādātās daudzāģentu sistēmas lietošana, analizēti reāla uzņēmuma dati un piedāvāta piegādes ķēdes vadības procesu uzlabošana. Nodaļas beigās veikta piegādes ķēdes darbības rezultātu analīze un izstrādātās daudzāģentu sistēmas lietošanas efektivitātes pārbaude.

Noslēgums veltīts definēto uzdevumu izpildes aprakstam un sasniegto rezultātu analīzei, kā arī vispārējiem secinājumiem par izstrādātās sistēmas lietojamību un turpmāko darbu.

1. PIEGĀDES ĶĒDES VADĪBA UN TĀS EFEKTIVITĀTES UZLABOŠANAS METODES

Nodaļā apskatītas piegādes ķēdes definīcijas, piegādes ķēdes risināmo uzdevumu klāsts un piegādes ķēdes vadības pamati. Tiek analizētas esošās piegādes ķēdes veiktspējas uzlabošanas tehnoloģijas, un piedāvāts detalizēts apskats par esošajām daudzāģentu sistēmām piegādes ķēdes vadībai.

Nodaļas beigās noteiktas prasības daudzāģentu sistēmas izstrādāšanai un definēta piegādes ķēdes veiktspējas mērīšana un tās metrikas.

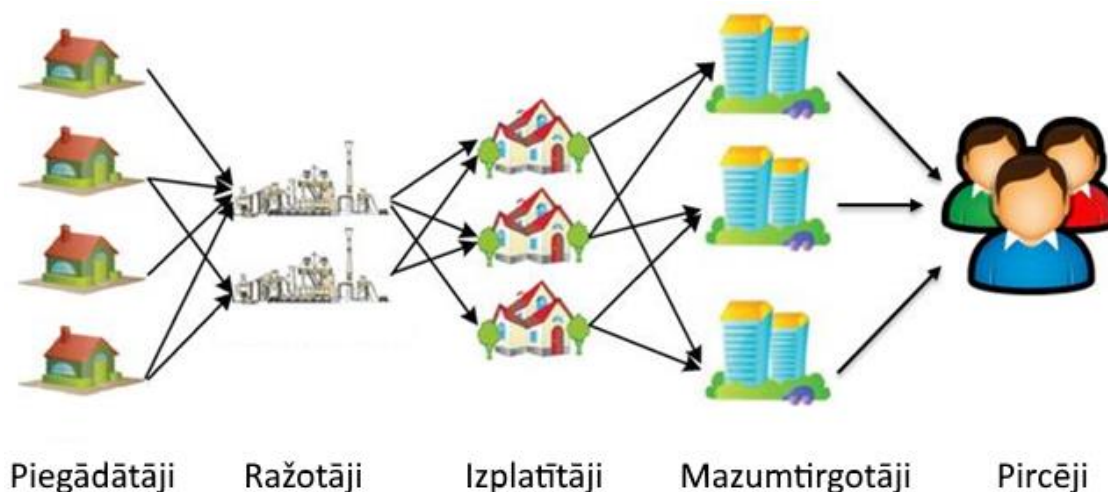
1.1. Piegādes ķēdes vadības pamati un galvenie jēdzieni

1.1.1. Piegādes ķēdes vadības definīcijas

Pastāv dažādas piegādes ķēdes definīcijas [17, 22, 48] un autore uzskata, ka katra no piedāvātajām definīcijām atspoguļo piegādes ķēdi un paaugstina piegādes ķēdes jēdziena saprašanas pakāpi.

Piegādes ķēde sastāv no visiem posmiem, kas ir tieši vai netieši saistīti ar pircēju pieprasījumu izpildi. Piegādes ķēde iekļauj sevī ne tikai ražotāju un piegādātāju, bet arī transportētājus, noliktavas, mazumtirgotājus un pircējus [17].

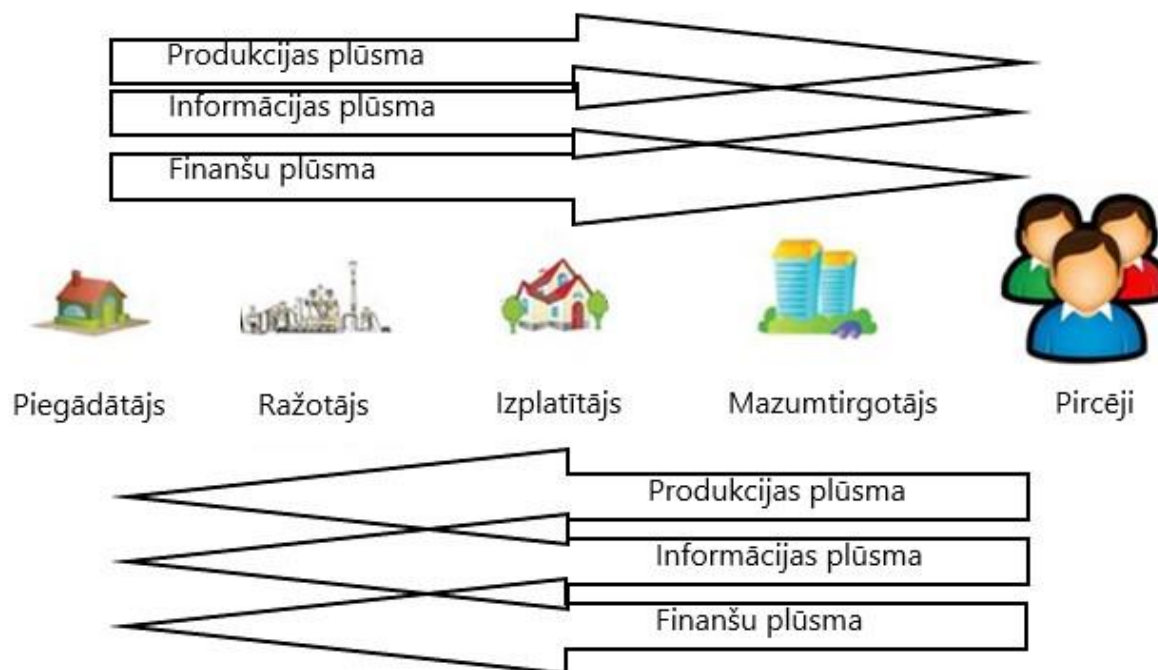
Piegādes ķēde ir objektu un izplatīšanas iespēju tīkls (1.1. att.), kurā veic izejvielu iegādi, to transformēšanu gatavā produkcijā un šīs produkcijas izplatīšanu līdz gala patērētājiem [22].



1.1. att. Piegādes ķēdes tīkls.

Piegādes ķēde ir loģistikas sistēmas mezglu kopums, kas ir lineāri sakārtots ar produkcijas, informācijas un finanšu plūsmām (1.2. att.), lai analizētu specifiskās loģistikas funkcijas un (vai) izmaksas. Produkcijas plūsma ietver preču pārvietošanu galvenokārt no piegādātāja līdz pircējam, preču atgriešanas gadījumā šī plūsma maina virzienu. Informācijas plūsma ietver pasūtījumu nosūtīšanu un piegādes statusa atjaunināšanu. Finanšu plūsma

sastāv no kredīta noteikumiem, maksājumu grafikiem un īpašumtiesību vienošanās. Piegādes ķēde atspoguļo produkcijas ceļu, sākot no izejvielu iegādes, to transformēšanu gatavā produkcijā un tās nogādāšanu gala patērētājiem. Tajā ir izejvielu piegādātāji, ražotāji, loģistiskie centri, noliktavas, transporta kompānijas, vairumtirgotāji, mazumtirgotāji un citi [48].



1.2. att. Lineārā piegādes ķēde un tās plūsmas.

Piegādes ķēdes vadība savukārt ir disciplīna, kas vērsta uz piegādātāju, rūpnīcu, noliktavu, izplatīšanas centru un mazumtirgotāju integrāciju, lai preces tiktu ražotas un izplatītas pareizajiem klientiem, pareizajā laikā, pareizajā vietā un par pareizo cenu. Turklāt tādā veidā, kas samazina izmaksas, vienlaikus nodrošinot noteiktu pakalpojumu līmeni [82].

Piegādes ķēdes vadība ir piegādes ķēdes plānošanas, ieviešanas un kontroles operāciju process efektīvā veidā. Piegādes ķēdes vadība aptver izejvielu, ražošanas procesā esošo krājumu un gatavo preču pārvietošanu un uzglabāšanu no izcelsmes vietas līdz patēriņa vietai [46].

Piegādes ķēdes vadības panākumu atslēga ir piegādes ķēdes izveidošana, kas ietver pielāgošanu, lai tā atbalstītu uzņēmuma vajadzības labāk apkalpot klientus [89].

Piegādes ķēdes vadībai ir *stratēģiskais*, *taktiskais* un *operatīvais* lēmumu pieņemšanas līmeņi, kas uzlabo piegādes ķēdes veiktspēju. Stratēģiskajā līmenī tiek definēts piegādes ķēdes tīkls, piemēram, piegādātāju izvēle, ražošanas līmeņu un iekārtu noteikšana, noliktavu un to izvietojumu izvēle, un citi. Taktiskajā līmenī plāno piegādes ķēdi atbilstoši faktiskajam pieprasījumam. Operatīvajā līmenī tiek izpildīti plāni. Taktiskā un operatīvā lēmumu pieņemšanas līmeņu funkcijas ir sadalītas visā piegādes ķēdē [14, 73].

1.1.2. Piegādes ķēdes vadības posmi un to uzdevumi

Piegādes ķēdes vadība iekļauj šādus posmus: plānošana; iegāde; ražošana; nogādāšana; atgriešana [102]. Katram posmam ir uzdevumi [93], ko ir vērts apskatīt atsevišķi (1.1. tab.).

1.1. tabula

Piegādes ķēdes vadības posmi un to uzdevumi

Piegādes ķēdes vadības posmi	Izpildāmie uzdevumi
Plānošanas posms	Rādītāju kopuma vai galveno darbības rādītāju izstrādāšana, lai pārraudzītu piegādes ķēdes veiktspēju
Iegādes posms	<ul style="list-style-type: none">• Piegādātāju izvēle,• Cenu kopuma izveidošana,• Preču piegādes un apmaksas procesu izveidošana,• Metrikas izveidošana attiecību uzraudzībai un uzlabošanai.
Ražošanas posms	<ul style="list-style-type: none">• Ražošanas, pārbaudes, iepakšanas aktivitāšu plānošana,• Kvalitātes līmeņu, produkcijas izlaides un darbinieku produktivitātes novērtēšana.
Nogādāšanas posms	<ul style="list-style-type: none">• Saņemto pasūtījumu koordinēšana,• Noliktavu tīkla attīstība,• Pārvadātāju izvēle,• Rēķinu un maksājumu saņemšanas sistēmas izveidošana.
Atgriešanas posms	Tīkla izveidošana, lai no klientiem saņemtu brāķētus un liekus produktus un atbalstītu klientus, kuriem ir problēmas ar piegādātajām precēm.

Plānošanas posma uzdevums ir pārvaldīt visus resursus, kas tiek izmantoti klientu pieprasījuma apmierināšanai. Tas ir iepriekš minētais *stratēģiskais lēmumu pieņemšanas līmenis*. Viena no plānošanas posma daļām ir rādītāju kopuma vai galveno darbības rādītāju izstrādāšana, lai pārraudzītu piegādes ķēdes veiktspēju tā, lai tā būtu efektīva, samazinātu izmaksas un nodrošinātu augstu kvalitāti un vērtību klientiem.

Iegādes posma uzdevums ir piegādātāju izvēle, kuri nogādās izejvielas vai pakalpojumus, kas nepieciešami, lai ražotu precī vai nodrošinātu pakalpojumu. Jāizveido cenu kopums, preču nogādāšanas un apmaksas procesi ar piegādātājiem un metrika izveidoto attiecību uzraudzībai un uzlabošanai.

Ražošanas posms iekļauj ražošanas plānošanu, tā uzdevums ir ieplānot aktivitātes, kas nepieciešamas ražošanai, pārbaudei, iepakšanai un sagatavošanai nogādāšanai. Šajā posmā jānovērtē kvalitātes līmeņi, produkcijas izlaide un darbinieku produktivitāte.

Nogādāšanas posma uzdevums ir koordinēt pasūtījumu saņemšanu no klientiem, attīstīt noliktavu tīklu, izvēlēties pārvadātājus, lai klienti saņemtu preces, un izveidot rēķinu sistēmu maksājumu saņemšanai.

Atgriešanas posmā ietilpst tīkla izveidošanas uzdevums, lai no klientiem saņemtu brāķētus un liekus produktus un atbalstītu klientus, kuriem ir problēmas ar piegādātajām precēm.

Iepriekš minētie uzdevumi formulē galvenos piegādes ķēdes vadības procesus, proti: izejvielu iegāde; ražošanas plānošana; gatavās produkcijas iepakošana un nogādāšana; maksājumu koordinācija ar piegādātājiem un klientiem; ceļa izveidošana atgrieztajai produkcijai (1.1. tab.).

1.1.3. Piegādes ķēdes makro procesi un virzītājspēki

Piegādes ķēdes procesus var aprakstīt ar *makro procesiem*. Šie makro procesi kontrolē produkcijas, informācijas un finanšu plūsmas, kas nepieciešamas klientu pieprasījumu ģenerēšanai, iegūšanai un izpildei [17]:

1. Klientu attiecību vadība – procesi, kas ir koncentrēti uz mijiedarbību starp dažādiem mezgliem – starp uzņēmumu un tā klientiem.
2. Iekšējā piegādes ķēdes vadība – procesi, kas ir uzņēmuma iekšienē – visas operācijas un darbības vienā mezglā.
3. Piegādātāju attiecību vadība – procesi, kas ir koncentrēti uz mijiedarbību starp dažādiem mezgliem – starp uzņēmumu un tā piegādātājiem.

Lai piegādes ķēde būtu veiksmīga, ir svarīgi, lai šie trīs makro procesi būtu labi integrēti. Integrācijas trūkums ietekmē piegādes ķēdes spēju efektīvi saskaņot piedāvājumu un pieprasījumu, izraisot klientu neapmierinātību un augstas izmaksas. Tāpēc uzņēmumiem jāizveido piegādes ķēde, kas atspoguļo makro procesus un nodrošina labu komunikāciju un koordināciju starp to procesu īpašniekiem, kuri mijiedarbojas viens ar otru [17].

Piegādes ķēdes *virzītājspēki* ir objekti, krājumi, pārvadājumi, informācija, pakalpojumu izmantošana un cenu noteikšana [17]:

1. **Objekti** ir faktiskās fiziskās atrašanās vietas piegādes ķēdes tīklā, kur produkcija tiek uzglabāta, ražota vai savākta. Lēmumi par objektu nozīmi, izvietojumu, jaudu un elastīgumu būtiski ietekmē piegādes ķēdes darbību.
2. **Krājumi** ietver izejvielas, nepabeigtos ražojumus un gatavu precī piegādes ķēdē. Krājumu politikas modifikācijas var mainīt piegādes ķēdes efektivitāti.
3. **Pārvadājumi** ir saistīti ar krājumu pārvietošanu no viena punkta piegādes ķēdē uz otru. Pārvadājumu izvēlei ir liela ietekme uz piegādes ķēdes efektivitāti.
4. **Informācija** sastāv no datiem un analīzēm par objektiem, krājumiem, pārvadājumiem, izmaksām, cenām un klientiem visā piegādes ķēdē. Informācija, iespējams, ir lielākais virzītājspēks piegādes ķēdē, jo tā tieši ietekmē visus pārējos virzītājspēkus. Informācija sniedz vadībai iespēju padarīt piegādes ķēdes efektīvākas.
5. **Pakalpojumu izmantošana** ir izvēle, kurš veiks piegādes ķēdes darbības, piemēram, ražošanu, uzglabāšanu, pārvadāšanu vai informācijas pārvaldību. Pakalpojumu izmantošanas lēmumi ietekmē piegādes ķēdes efektivitāti.
6. **Cenu noteikšana** nosaka, cik daudz uzņēmums saņems par precēm un/vai pakalpojumiem piegādes ķēdē. Cenu noteikšana maina pircēja uzvedību, tādējādi

ietekmējot piegādes ķēdes veiktspēju. Jebkuras izmaiņas cenu noteikšanā skar ieņēmumus tiešā veidā, bet var ietekmēt arī izmaksas.

Šie virzītājspēki mijiedarbojas, lai noteiktu piegādes ķēdes efektivitātes veiktspēju. Tie ietekmē arī finanšu rādītājus. Ir jāparvalda virzītājspēki, lai sasniegtu vēlamu reakcijas līmeni ar viszemākajām iespējamām izmaksām, tādējādi uzlabojot piegādes ķēdes pārpalikumu un uzņēmuma finanšu rādītājus. Iepriekš minētajiem virzītājspēkiem savstarpēji jāsadarbojas, lai noteiktu piegādes ķēdes vispārējo veiktspēju [17].

1.1.4. Plānošana piegādes ķēdē

Šajā posmā ir jāplāno piegāde, pakalpojumu izmantošana, ražošana, pieprasījuma prognozēšana un drošības krājumi.

Ir jāizstrādā rādītāju kopums vai galveno darbību rādītāji, kas notiek plānošanas posmā, lai pārraudzītu piegādes ķēdes veiktspēju.

Piegādes plānošana

Uzņēmums var mainīt savu produkcijas piedāvājumu, pārvaldot divu faktoru kombināciju, un šie faktori ir:

1. ražošanas jauda,
2. krājumi.

Piegādes mērķis ir peļņas maksimizēšana. Peļņu savukārt aprēķina šādi: ieņēmumi no pārdošanas, no kuriem atskaitītas produkcijas ražošanas un uzglabāšanas izmaksas. Šo divu faktoru kombinācija tiek izmantota, lai kontrolētu piegādes uzņēmumus [17].

Pakalpojumu izmantošanas plānošana

Pirms piegādātāju izvēles uzņēmumam jāizlemj, izmantot vienu vai vairākus piegādātājus. Vairāki piegādātāji nodrošina zināmu konkurenci un samazina risku, ja vienam piegādātājam neizdodas piegādāt izejvielas.

Piegādātāju atlase un izvēle tiek veikta, izmantojot dažādus mehānismus, piemēram, izsoles, konkurējošus piedāvājumus vai sarunas, izmantojot tiešo ziņojumu apmaiņu [17].

Ražošanas plānošana

Informācijas tehnoloģijas (IT) galvenokārt tiek izmantotas kopējā plānošanā piegādes ķēdē. Pirmie IT piegādes ķēdes produkti bija kopēji plānošanas moduļi. Daži no tiem koncentrējās uz ražošanas plānu atbilstoši pieprasījumam un pieejamajai jaudai. Jaunākajos moduļos tika piedāvāti rīki, kas no iespējamiem ražošanas plāniem izvēlējās labāko risinājumu ar mērķi palielināt ieņēmumus vai samazināt izmaksas.

Mūsdienās plānošanas moduļi var sastāvēt no nelineāras optimizācijas paketes, jo ne visas pamatotās mērķa funkcijas vai ierobežojumi ir lineāras funkcijas. Jebkurā gadījumā lineārā programmēšana parasti ir labākā metode problēmu risināšanai [17].

Pieprasījuma prognozēšanas plānošana

Pieprasījuma prognozēšana ir visas piegādes ķēdes plānošanas pamats. Pirmais solis, kas jāveic, ir – paredzēt, kāds būs klientu pieprasījums. Uzņēmumiem un piegādes ķēdes pārvaldītājiem jāzina šādi prognozes raksturojumi [17]:

1. Prognozes vienmēr ir neprecīzas, tāpēc tajās jāietver gan paredzamā prognozes vērtība, gan prognozes kļūdas apmērs.
2. Ilgtermiņa prognozes parasti ir mazāk precīzas nekā īstermiņa prognozes.
3. Apkopotās prognozes parasti ir precīzākas nekā sadalītās prognozes, jo tām parasti ir mazāka kļūdas standartnovirze attiecībā pret vidējo.
4. Informācijas izkropļojums kļūst lielāks proporcionāli attālumam starp uzņēmumu un patērētāju.

Pagātnes pieprasījums, produkcijas papildināšanas izpildes laiks, plānotie reklāmas vai mārketinga pasākumi, plānotās cenu atlaides, ekonomiskais stāvoklis, kā arī dalībnieku veiktās darbības ietekmē pieprasījuma prognozēšanu. Ir četri prognozēšanas metožu veidi – kvalitatīvā, laikrindu, cēloņsakarību un modelēšanas prognozēšanas metodes [17]:

1. *Kvalitatīvā prognozēšanas metode* ir vissubjektīvākā metode un ir atkarīga no eksperta sprieduma. Šāda veida metodes var prognozēt pieprasījumu pēc dažiem gadiem, nonākot jaunā tirgū. Kvalitatīvas prognozēšanas metodes var izmantot trūkstošu vai ierobežotu datu gadījumā.
2. Prognozēšanas metode, kas prognozes sastādīšanai izmanto vēsturisku pieprasījumu, ir *laikrindu prognozēšanas metode*. Metode izmanto pagātnes pieprasījuma vēsturi, lai prognozētu nākotnes pieprasījumu, uzskatot, ka pagātnes pieprasījums raksturo galvenās nākotnes pieprasījuma tendences. Šo metodi var izmantot gadījumos, kad pieprasījums nemainās gadu no gada. Laika rindu prognozēšanas metodi var izmantot kā sākumpunktu pieprasījuma prognozēšanai.
3. Ekonomiskais stāvoklis, procentu likmes vai citi vides faktori var būt galvenie rādītāji nākotnes pieprasījuma prognozēšanā. Piemēram, produkta cenu svārstības var mainīt pieprasījumu. Tādēļ uzņēmumi var izmantot metodi, ko sauc par *cēloņsakarību prognozēšanas metodi*, lai noteiktu cenu svārstību ietekmi uz nākotnes pieprasījumu.
4. *Modelēšanas prognozēšanas metodes*, veidojot prognozi, var piedāvāt klienta vajadzību imitāciju. Modelēšanas prognozēšanas metodē var izmantot dažādas iepriekš minētās metodes vai to kombinācijas, mēģinot atbildēt uz šādiem jautājumiem: “Kāda ir cenu svārstību ietekme?”, “Kas notiks, ja tirgū ienāks cits konkurents?”

Informācijas tehnoloģijai ir pašsaprotama loma prognozēšanā, ņemot vērā lielo iesaistīto datu daudzumu, prognozēšanas veikšanas biežumu un to, cik svarīgi ir iegūt pēc iespējas kvalitatīvākus rezultātus. Prognozēšanas modulis ir galvenais programmatūras produkts piegādes ķēdes IT sistēmā. Izstrādātajā IT sistēmā jābūt pieprasījuma prognozei un kļūdas mērījumam [17].

Drošības krājumu plānošana

Krājumi ir nepieciešami, lai apmierinātu pieprasījumu, ja prognozētais pieprasījums pārsniedz faktisko pieprasījumu noteiktā laika posmā; tas nozīmē, ka ir nepieciešami drošības krājumi. Drošības krājumi ir nepieciešami arī neskaidra pieprasījuma gadījumā, jo produkta trūkums var izraisīt klienta neapmierinātību un ieņēmumu zudumus.

Drošības krājumu palielināšana paaugstina produktu pieejamību un, iespējams, produktu pārdošanu un ieņēmumus. No otras puses, drošības krājumu pieaugums palielina krājumu uzglabāšanas izmaksas. Drošības krājumu plānošanas uzdevums ir noteikt tādu krājumu līmeni, kas apmierinātu pieprasījumu ar zemākām uzglabāšanas izmaksām. Uzglabāto krājumu daudzums ir vissvarīgākais jautājums produktiem ar īsu produktu dzīves ciklu, jo šie produkti var kļūt nevērtīgi [17].

Drošības krājumu līmeni nosaka šādi divi faktori: pieprasījuma un piegādes nenoteiktība; vēlamais produkta pieejamības līmenis. Gadījumā, ja pieaug nenoteiktība, palielinās nepieciešamais drošības krājumu līmenis. Palielinot vēlamo produktu pieejamības līmeni, palielinās arī nepieciešamais drošības krājumu līmenis.

Papildus krājumu papildināšanas procedūru pamatiem, divi nozīmīgākie IT sistēmu uzlabošanas ieguldījumi – krājumu redzamība un labāka koordinācija piegādes ķēdē. Paaugstināta redzamība, kas tiek nodrošināta ar IT sistēmu, ļauj uzņēmumam uzlabot produktu pieejamību klientam, nepalielinot krājumus.

Ir svarīgi atzīt, ka IT sistēmas vērtība ir cieši saistīta ar krājumu informācijas precizitāti. Neprecīza informācija par krājumiem noved pie kļūdainiem lēmumiem un sliktākajā gadījumā var izraisīt neuzticēšanos starp piegādes ķēdes partneriem, kas savā starpā koordinē lēmumus un darbības [17].

1.1.5. Piegādes ķēdes vadības attīstība un iespējami riski

Viena no attīstības pazīmēm ir interneta pieejamība un paplašināšana pasaules mērogā, šādi izveidojot jaunus pārdošanas kanālus, saglabājot arī iepriekšējos izplatīšanas kanālus. Iepērkoties tiešsaistē pircējs var salīdzināt cenas un piegādes laiku. Savukārt pārdevējs var piedāvāt pircējiem preces, kas saskan ar iepriekšējām pircēju vēlmēm, kā arī nosūtīt preču reklāmu, kas var stimulēt pircējus iepirkties. Piedāvājot preces tiešsaistē, jārealizē precīza preces uzskaitē. Informācijas pareiza uzskaitē, analīze un pārvaldīšana ir dažas no galvenajām iezīmēm piegādes ķēdes vadības attīstībā [16].

Globālā COVID-19 ietekme uz piegādes ķēdēm vēl nav zināma, bet pandēmijas sekas ir jūtamas visas piegādes ķēdes garumā, no izejvielām līdz gala produkcijai. Ražošana apstājās, piegādes laiki palielinājās. Uzņēmumiem, kuri izstrādāja un ieviesa piegādes ķēdes riska vadību, izdevās labāk sagatavoties un šādi samazināja pandēmijas ietekmi [35].

Pieaugot piegādes līdz mājām pieprasījumam pandēmijas apstākļos, piegādātājiem jāpielāgo papildināšanas mehānismi jaunajos apstākļos. Šī situācija kalpo kā mācība un motivācija piegādes ķēdēs iestrādāt elastību un robustumu [56].

Pandēmija parādīja, ka labi funkcionējošai piegādes ķēdei ir centrālā loma sabiedrībā. Vislabākais piemērs ir veselības aprūpē, kur piegādes ķēdes traucējumi, pēkšņs un masveida pieprasījums izveidoja individuālo aizsardzības līdzekļu kritisku trūkumu [92].

Neefektīva piegādes ķēdes vadība padarīs to neaizsargātu pret riskiem, kas savukārt, samazinās piegādes ķēdes veiktspēju. Tipiski riska vadības posmi sākas ar riska identificēšanu, novērtēšanu, riska vadību, kontroli un uzraudzību. Galvenie riska faktori ir piegādes risks, operacionālais, finanšu, pieprasījuma, informācijas riski, ekonomiskā krīze, valdības noteikumu maiņa, darbaspēks, dabas un cilvēku izraisītās katastrofas utml. Izstrādājot svaigo produktu piegādes ķēdes piemēru, autori [71] piedāvāja piegādes riska samazināšanai vairākus piegādātājus, pieprasījuma riska samazināšanai – izmantot informācijas tehnoloģijas prognozēšanas modeli, informācijas riska pārvaldībai lietot internetu utt.

Jaunās paaudzes piegādes ķēdes izstrādāšanas laikā jāņem vērā pieejamie piegādes ķēdes darbības rezultāti, lai būtu gatavi jauniem izaicinājumiem.

1.2. Esošo piegādes ķēdes vadības veiktspējas uzlabošanas tehnoloģiju analīze

Piegādes ķēdes vadības stratēģiskā, taktiskā un operatīvā lēmumu pieņemšana ietver sevī piegādes ķēdes tīkla projektēšanas lēmumus, pārvadāšanas un krājumu kontroles politikas, kas formulē galvenās pētījumu tēmas: objektu atrašanās vietas optimizācija, pārvadāšanas optimizācija, krājumu kontrole un vadība. Tiek iesaistīti šādi uzdevumi: telpu skaita, lieluma un izvietojuma optimizēšana, krājumu izvietojuma optimizēšana, kontroles politikas izstrāde un drošības krājumu līmeņu definēšana, transporta veida un sūtījuma lieluma izvēle utt.

Pastāv dažādas piegādes ķēdes veiktspējas uzlabošanas tehnoloģijas, piemēram, ar informācijas tehnoloģijas palīdzību, izmantojot uzņēmējdarbības vadīšanu, lietojot mākslīgo intelektu vai imitācijas modelēšanas programmatūru; autore ilustrē šīs tehnoloģijas ar piemēriem (1.2. tab.).

IT pieeja sastāv no aparatūras un programmatūras. IT ir arī nozīmīga loma piegādātāju, ražotāju, izplatītāju un klientu integrācijā, lai nodrošinātu produktu daudzumu un kvalitāti. Organizācijas var savākt būtisku informāciju visā piegādes ķēdē un ātri reaģēt uz visām paredzamām tirgus izmaiņām, tādējādi iegūstot konkurences priekšrocības, efektīvi izmantojot piegādes ķēdes vadību.

RFID un svītrkoda izmantošana uzlabo produktivitāti, izmantojot datu precizitāti un kvalitātes kontroli, samazinot darbaspēka stundas un izmaksas, veicot krājumu vadību un izsekošanu.

Uzņēmējdarbības vadība piedāvā nepārtrauktu procesu un kvalitātes uzlabošanu un zaudējumu novēršanu.

Piegādes ķēdes veiktspējas uzlabošanas tehnoloģijas

Nr.	Uzlabošanas tehnoloģija	Uzlabošanas tehnoloģijas piemērs
1.	Informācijas tehnoloģija	<ul style="list-style-type: none"> • ERP; • EDI; • ERM; • RFID; • Svītrkods;
2.	Uzņēmējdarbības vadība	<ul style="list-style-type: none"> • LEAN ražošanas process; • 6 Sigma; • 5S (Sort, Set, Shine, Standardize, Sustain); • Kaizen;
3.	Mākslīgais intelekts	<ul style="list-style-type: none"> • Programmatūras aģenti
4.	Imitācijas modelēšana	<ul style="list-style-type: none"> • Imitācijas modelēšanas lietošana piedāvātās stratēģijas efektivitātes noteikšanai; • Imitācijas modelēšana + ciparu dvīnis.

Programmatūras aģents ir programmatūras sistēma, kurai piemīt intelekts, autonomija, pielāgošanās spēja un darbība lietotāja vārdā. Aģenta intelekts attiecas uz tā spējām veikt darbības, izmantojot atbilstošu informāciju.

Imitācijas modelēšana tiek izmantota kā rīks piegādes ķēdes izaicinājumu pārvaldībai, izmaksu samazināšanai un klientu apkalpošanas uzlabošanai. Ciparu dvīnis attēlo reālās pasaules sistēmu virtuālajā vidē. To var izmantot īpašās piegādes ķēdes zonās vai visā sistēmā. Piegādes ķēdes digitālo dvīni var izmantot, lai atklātu šaurās vietas, pārbaudītu piegādes ķēdes konfigurācijas izmaiņas un attīstību, uzraudzītu risku un pārbaudītu iespējamības [5]. Ciparu dvīnis ļauj piegādes tīklam iedarbināt paralēlu versiju, kurā ir tās pašas piegādes ķēdes vienības, parametri un finanšu mērķi [20]. Uzņēmumi, kuriem ir ciparu dvīnis, var savlaicīgi reaģēt uz trūkumiem pirms tie parādās uzņēmumā [44].

Mēģinot uzlabot piegādes ķēdes vadības veiktspējas rādītājus, pētnieku domas dalās un notiek pētījumi vairākos virzienos. Apskatot literatūru, tika novērotas četras autoru grupas:

- pirmā grupa [46, 96] pētīja objektu izvietojanas uzdevumu;
- otrā grupa [83, 88] piedāvāja izmantot imitācijas modelēšanas programmatūru;
- trešā grupa [31, 41, 52] lietoja *LEAN* ražošanas procesu;
- ceturtā grupa [28, 29, 37, 77, 100] piegādes ķēdes vadībai ierosināja izmantot aģentus.

Visi minētie pētnieki sasniedza savus mērķus, un šos pētījumus virzienus var veiksmīgi izmantot atbilstoši konkrētam uzdevumam, kas tiks aprakstīti nākamajos paragrafos.

1.2.1. Objektu izvietojanas uzdevums

Objektu izvietojanas lēmumiem ir izšķiroša loma piegādes ķēdes tīkla plānošanā [46]. Jautājumi, uz kuriem jāatbild, ir šādi: “Kādus objektus vajadzētu izmantot (vai izveidot)?”, “Kurus klientus no kura objekta (vai objektiem) vajadzētu apkalpot, lai samazinātu kopējās izmaksas?”

Objektu izvietojanas uzdevums ir plānošanas posma sastāvdaļa piegādes ķēdes vadībā. Tā mērķis ir atrast labāko iespējamo piegādes ķēdes konfigurāciju. Atsevišķā ēku izvietojanas uzdevumā notiek vietu atlase, kurās paredzēts izveidot jaunus objektus, ar ierobežotu pieejamo kandidātu atrašanās vietu kopumu [46].

Daudzi ekonomiskie lēmumu uzdevumi ir saistīti ar objektu izvēli un/vai izvietojanu, lai efektīvi apkalpotu pieprasījumu. Piemēram, rūpnīcu, noliktavu, bibliotēku, ugunsdzēsības staciju, slimnīcu izvietojana. Kopīgais ir tas, ka objektu kopumu ir jāizvēlas ar mērķi vislabāk apmierināt klientu pieprasījumu [96].

1.2.2. Imitācijas modelēšanas lietošana

Imitācijas modelēšanas lietošana no vienas puses atļauj izplānot piegādes ķēdi un, no otras puses, novērtēt piegādes ķēdes vadību pirms sistēmas ieviešanas, veicot analīzi, kas notiks, ja rezultātā tiks pieņemts “labākais” lēmums. Šajā modelēšanā ietilpst piegādes ķēdes plūsmas modelēšana un lēmumu procesu dinamika. Imitācijas modelis ir jāveido atbilstoši tā izmantošanai un/vai piegādes ķēdes vadības funkcijai, kuru vēlas imitēt vai novērtēt. Piegādes ķēdes vadības jomā imitācijas modelēšanu var izmantot divos gadījumos [88]:

1. lai atbalstītu piegādes ķēdes projektēšanas lēmumus par objektu atrašanās vietām, piegādes un izplatīšanas kanālu konfigurāciju, krājumu izvietojumu, piegādātāju un partneru atlasīšanu, jaudas un krājumu lielumu noteikšanu;
2. lai novērtētu esošo vai izvēlēto piegādes ķēdes politiku: krājumu vadība, kontroles politika, plānošanas procesi, sadarbība/mijiedarbība/koordinācija un informācijas koplietošana.

Autori [83] piedāvāja izmantot imitācijas modelēšanas rīku uzņēmuma veikspējas uzlabošanai. Viņi izanalizēja esošo situāciju uzņēmuma krājumu vadībā, pēc tam tika izmantotas četras krājumu vadības stratēģijas un tika izmantoti simulācijas modeļi, lai novērtētu sistēmas darbību, un beigās tika apspriests optimizācijas modelis.

1.2.3. LEAN ražošanas procesa metodoloģijas lietošana

LEAN būtībā ir pastāvīgu uzlabojumu pieeja, kas ir vērsta uz lieku darbību novēršanu. Liekas darbības var pastāvēt pārdošanas un operāciju plānošanas procesā, iepirkumos un ražošanā, pārvadāšanas un nosūtīšanas kļūdās, utt. [52].

LEAN piegādes ķēde [31] ir savstarpēji savienotu un atkarīgu partneru sistēma, kas darbojas vienoti, lai sasniegtu piegādes ķēdes mērķus. Lai nodrošinātu panākumus visā piegādes ķēdē, jāiesaista rādītāji šo mērķu uzraudzībai un tie ir bieži jāpārskata. Šie mērķi tiek sasniegti šādi (1.3. tab.).

Mērķa sasniegšanas soļi LEAN metodoloģijā

Nr.	Mērķa sasniegšanas soļi
1.	Likvidēt visas liekās darbības piegādes ķēdē, lai paliek tikai darbības, kas palielina preču vērtību;
2.	Izvērtēt tehnoloģiskos sasniegumus, lai uzlabotu piegādes ķēdi;
3.	Padarīt klientu redzamu visiem piegādes ķēdes dalībniekiem;
4.	Samazināt izpildes laiku;
5.	Izlīdzināt preču un informācijas plūsmu;
6.	Lietot pull sistēmu, kā Kanban;
7.	Palielināt ātrumu, caurlaidspēju un samazināt variācijas;
8.	Sadarboties un lietot procesu disciplīnu;
9.	Koncentrēties uz kopējām izpildes izmaksām.

LEAN piegādes ķēdes vadība ir saistīta ar izmaksu un lieku darbību samazināšanu, cik vien iespējams. Šī metodoloģija ir svarīga organizācijām ar lielu pasūtījumu daudzumu, jo zaudējumi un izmaksas var ātri uzkrāties [41].

1.2.4. Programmatūras aģentu lietošana

Dažādi autori piedāvā šādus iemeslus un ieguvumus, kas saistīti ar programmatūras aģentu izstrādāšanu piegādes ķēdes vadībai:

1. Spēja pārvaldīt piegādes ķēdes taktisko un operatīvo līmeni tā, lai tiktu panākta savlaicīga informācijas paplašināšana, precīza lēmumu koordinācija un darbību vadīšana starp cilvēkiem un sistēmām, kas rezultātā ietekmē efektīvu, koordinētu uzņēmuma mērķu sasniegšanu [28, 73].
2. Piegādes ķēdes dinamika padara koordinētu darbību par svarīgu faktoru tās integrācijā. Lai uzlabotu piegādes ķēdes lēmumus, aģents pats par sevi nevar pieņemt lēmumu lokāli, tam ir jādefinē sava lēmuma ietekme uz citiem aģentiem un jāsaņemas ar citiem, lai izvēlētos un izpildītu alternatīvu, kas ir labāka visā piegādes ķēdē. Risinot stohastiskos notikumus, aģentiem jāpieņem lēmumi, pamatojoties uz sarežģītiem globāliem kritērijiem, kurus pilnībā nezina neviens aģents, un tie var būt pretrunīgi un tāpēc nepieciešami kompromisi [28].
3. Aģenti ir autonomas, problēmas risinošas skaitļošanas vienības, kas spēj efektīvi darboties dinamiskā un atvērtā vidē, un tāpēc tie spēj nodrošināt piemērotu risinājumu sarežģītai procesu vadībai starp tīkla uzņēmumiem [29].

Daudzaģentu sistēmas ir piemērotas jomām, kurās notiek mijiedarbība starp dažādiem cilvēkiem vai organizācijām ar atšķirīgiem un, iespējams, pretrunīgiem mērķiem. Tad piegādes ķēde tiek apskatīta kā intelektuālo aģentu kopums, kur katrs aģents ir atbildīgs par vienu vai vairākām darbībām piegādes ķēdē. Autonomu aģentu kopums daudzģentu sistēmās darbojas dažādu lietotāju interesēs, un aģenti mijiedarbojas uzdevumu risināšanas, informācijas apmaiņas, darbību veikšanas un kopīgu mērķu sasniegšanas procesos. Spēja komunicēt ir aģentu unikālā īpašība, kas tos atšķir no citas programmatūras [62].

Viena no daudzģentu sistēmas iezīmēm ir tāda, ka tā piedāvā decentralizētu sistēmu. Visas sistēmas uzvedību nosaka aģentu kopuma individuālās uzvedības, kur katrs aģents ievēro savus uzvedības noteikumus, pastāv kopīgā vidē un mijiedarbojas ar apkārtējo vidi un citiem aģentiem [62].

1.2.5. Secinājumi par eksistējošiem pētījumu virzieniem

Analizējot iepriekšminētos pētījumu virzienus, tika secināts, ka piegādes ķēdes vadības veikspējas uzlabošanai vispiemērotākās ir daudzģentu sistēmas, jo tās spēj piedāvāt pastāvīgu uzlabošanu dinamiski mainīgos apstākļos, iekļauj arī citas uzlabošanas metodes un tās var sekmīgi izmantot gan esošos, gan jaunus uzņēmumos (1.4. tab.).

1.4. tabula

Eksistējošo pētījumu virzienu analīze

Pētījumu virziens	Pētījumu virziena piemērotība uzdevumiem
Objektu izvietošanas uzdevums	Piegādes ķēdes plānošanas fāzē
Imitācijas modelēšanas lietošana	Dažādu stratēģiju analīze un labākās stratēģijas izvēle
LEAN ražošanas procesa metodoloģijas lietošana	Lieku darbību izņemšana ražošanas procesā
Programmatūras aģentu lietošana	Piegādes ķēdes uzdevumu sadalīšana aģenteim kopējas sistēmas labāka rezultāta sasniegšanai

Objektu izvietošanas uzdevums ir stratēģiskās plānošanas uzdevums; tas galvenokārt ir nepieciešams piegādes ķēdes stratēģiskās plānošanas posmā, tajā risina šādus jautājumus: kur būvēt vai iznomāt rūpnīcu, noliktavu, noteikt to daudzumu optimālai uzņēmuma darbībai; kā noteikt iekārtu izvietošanu un to jaudas. Jau eksistējošas piegādes ķēdes gadījumā risināmais uzdevums varētu būt nākamās ēkas atvēršana vai iekārtu pirkšana, lai apmierinātu lielāku klientu pieprasījumu.

Imitācijas modelēšanas rīka izmantošanas priekšrocība ir dažādu stratēģiju lietošana un labākās stratēģijas vai piegādes ķēdes labākas konfigurācijas noteikšana.

LEAN metodoloģija var nodrošināt nepārtrauktu darbības uzlabošanu, izslēdzot liekās un vērtību nepalielinošās darbības piegādes ķēdē.

Daudzaģentu sistēma var piedāvāt piegādes ķēdes vadības uzlabošanu, sadalot uzdevumus aģentiem, un tie sadarbosies, lai sasniegtu labākus sistēmas veiktspējas rezultātus [62].

Strādājot ar informācijas tehnoloģijām, darbības laikā tiek savākti un lietoti dati lielos apjomos, savukārt saņemtās zināšanas netiek izmantotas pilnā mērā. Uzņēmumu zināšanas pārsvarā nav sadalītas starp dažādiem uzņēmuma departamentu darbiniekiem. Pāreja no netiešām (ir zināms tikai zināšanu nesējam, bieži neapzināti) uz precīzi noformulētām zināšanām bieži tiek pārtraukta. Tas liecina par zināšanu parvaldības integrācijas nepieciešamību uzņēmumos [87].

Nākamais solis ir eksistējošo daudzģentu sistēmu apskats, kas iekļauj sevī risināmo uzdevumu un daudzģentu sistēmas arhitektūras apskatīšanu un analīzi par sistēmas atkārtotas lietošanas iespējām.

1.3. Eksistējošo daudzģentu sistēmu apskats

Daudzaģentu sistēmas tiek izmantotas dažādās problēmu jomās, piemēram, veselības aprūpē [3, 32, 80], izglītībā [7, 23, 50] un citās. Promocijas darbā tika analizētas tikai daudzģentu sistēmas piegādes ķēdes vadībai. Tika izvēlēti pieci darbi [28, 29, 37, 77, 100], kas apskata līdzīgus jautājumus tiem, kādi apskatīti promocijas darbā, taču neatrisina konkrētos uzdevumus.

1.3.1. Daudzaģentu sistēmas arhitektūras izveidošanas uzdevums

Darbā [28] tika pētīts un piedāvāts risinājums daudzģentu sistēmas arhitektūras izveidošanai. Autori piedāvāja sadalīt piegādes ķēdes procesus sešos aģentos – Pasūtījumu aģents, Loģistikas aģents, Transportēšanas aģents, Plānošanas aģents, Resursu aģents un Nosūtīšanas aģents:

1. *Pasūtījumu aģents* ir atbildīgs par pieprasījumu saņemšanu no klientiem, sarunām ar klientiem un klientu pieprasījumu apstrādi par pasūtījumu modificēšanu vai atcelšanu;
2. *Loģistikas aģents* veic ražošanas, piegādātāju un izplatīšanas centru koordinēšanu uzņēmuma jomā, lai sasniegtu labākos iespējamus rezultātus attiecībā uz piegādes ķēdes mērķiem, ieskaitot piegādi laikā, izmaksu samazināšanu utt. Tas pārvalda produkcijas vai materiālu pārvietošanu visā piegādes ķēdē no izejvielu piegādātāja līdz gatavās produkcijas klientam;
3. *Transportēšanas aģents* ir atbildīgs par transporta resursu norīkošanu un plānošanu, lai izpildītu Loģistikas aģenta nodotos pieprasījumus par pārvietošanām. Grafiku sastādīšanā tas var apsvērt dažādus transporta līdzekļus un pārvadāšanas maršrūtus;
4. *Plānošanas aģents* plāno un pārplāno darbības rūpnīcā, izpēta potenciālos hipotētiskos “kas-ja” scenārijus jauniem pasūtījumiem, ģenerē grafiku un pārsūta to Nosūtīšanas aģentam izpildīšanai. Tas var ģenerēt grafiku vai modificēt esošo grafiku;
5. *Resursu aģents* apvieno krājumu vadības un pirkšanas funkcijas. Tas dinamiski pārvalda izejvielu pieejamību, lai varētu izpildīt grafiku, novērtē resursu pieprasījumu un nosaka izejvielu pasūtījumu daudzumus. Tas ir atbildīgs par piegādātāju izvēli, kas

samazina izmaksas un palielina piegādi. Šis aģents ģenerē pirkuma pasūtījumus un uzrauga izejvielu piegādi;

6. *Nosūtīšanas aģents* veic pasūtījumu nosūtīšanu un reālā laika ražošanas kontroles funkcijas atbilstoši grafikam, ko norādījis Plānošanas aģents. Ņemot vērā grafikā noteiktās brīvības pakāpes, aģents pieņem lēmumus par turpmāko rīcību. Izlemjot, ko darīt tālāk, Nosūtīšanas aģentam ir jāsabalansē darbību veikšanas izmaksas, darbību veikšanai nepieciešamais laiks un ražošanas nenoteiktība.

1.3.2. Elastīgās un dinamiskās piegādes ķēdes konfigurācija

Daudzaģentu sistēma tika izmantota, lai izveidotu elastīgu un vispārīgu dinamiskas piegādes ķēdes konfigurāciju [77]. Katrs aģents var tikt ieviests ar atšķirīgiem mākslīgā intelekta paņēmieniem, kas ļauj sistēmas izstrādātājam pārbaudīt dažādas stratēģijas un izvēlēties optimālāko. Aģenti izmanto sadalītu zināšanu bāzi kā galveno sadarbības sastāvdaļu. Aģenti glabā informāciju un rezultātus zināšanu bāzē, lai citi aģenti to varētu izmantot savu problēmu risināšanai.

Autori piedāvā izcelt svarīgākās piegādes ķēdes apakšproblēmas un sadalīt tās starp šādiem aģentiem:

1. Izejvielu pirkšana:
 - Iepirkumu agents sarunājas par izejvielām ar piegādātāju, pamatojoties uz tādiem parametriem kā cena un piegādes laiks;
 - Iepirkumu pārvaldības aģents izlemj, kad pirkt izejvielas, pamatojoties uz pašreizējo krājumu līmeni un izejvielu pieprasījumu;
2. Ražošana un gatavās produkcijas nogādāšana:
 - Ražošanas plānošanas aģents optimizē ražošanas grafiku;
 - Nogādāšanas plānošanas aģents optimizē gatavās produkcijas nogādāšanas grafiku;
3. Produkcijas pārdošana pircējiem:
 - Tirdzniecības pārstāvja aģents atbild par klientu pasūtījumu izpildi. Aģents nosaka gatavās produkcijas cenu, pamatojoties uz pašreizējo pieprasījumu un varbūtību saņemt klientu pasūtījumus;
 - Mārketinga pārvaldības aģents izvēlas labākos klientus un tirgus segmentu, lai palielinātu ražotāja rentabilitāti.

Šī arhitektūra tika ieviesta Tirdzniecības aģentu konkursā, kur seši augstāk aprakstītie aģenti attēloja ražotāju, savukārt vēl divi aģenti šajā konkursā darbojās kā pircēju pārstāvji un izejvielu pārdevēji ražotājiem.

1.3.3. Daudzaģentu sistēmas izveidošana piegādes ķēdes vadības konkursiem

Autors [37] uzskata, ka daudzāģentu sistēma ir labi piemērota, lai izpildītu piegādes ķēdes vadības prasības. Izstrādātā sistēma tika izmantota dalībai piegādes ķēdes vadības konkursos un, lai uzlabotu sistēmas veiktspēju, konkursos tika izmēģinātas dažādas stratēģijas un iestatījumi aģentiem.

Izstrādātajā sistēmā ietilpst seši aģenti: Pieprasījumu aģents, Piegādes aģents, Krājumu aģents, Ražošanas aģents, Nogādāšanas aģents un Pārvaldnieka aģents:

1. *Pieprasījumu aģents* ir atbildīgs par lēmumu, kādus piedāvājumus nosūtīt klientiem, ar mērķi palielināt ienākumus no pārdošanas;
2. *Piegādes aģents* izlemj, kurus pasūtījumus sūtīt piegādātājiem, lai samazinātu iepirkuma izmaksas;
3. *Krājumu aģents* ir atbildīgs par krājumiem, tā mērķis ir samazināt uzglabāšanas izmaksas;
4. *Ražošanas aģents* izlemj, kuru produktu un kad ražot, lai palielinātu ražošanas lietderību;
5. *Nogādāšanas aģents* ir atbildīgs par pasūtījumu nogādāšanu ar mērķi samazināt soda naudu par novēlotu piegādi;
6. *Pārvaldnieka aģents* koordinē citu aģentu darbību, kā arī uztver un sazinās ar ārējo vidi.

Aģenti seko saviem mērķiem un sadarbojas, lai sasniegtu kopējo galveno mērķi - maksimālu peļņu.

1.3.4. Informācijas dalīšanas analīze divēšelonu piegādes ķēdē

Autora [100] darbs ir veltīts, lai izpētītu, kā informācijas dalīšana ietekmē piegādes ķēdes vadību, tāpēc tika piedāvāta uz aģentiem balstīta simulācija. Vispirms tika izstrādāta daudzāģentu sistēma, pēc tam sistēma imitē informācijas dalīšanas procesu piegādes ķēdē četros scenārijos, tādējādi novērtējot informācijas dalīšanas ieguvumus.

Visi aģenti tika ievietoti vidē, kur tie var mijiedarboties ar citiem, pamatojoties uz noteiktiem uzvedības noteikumiem un izstrādāšanas mērķiem. Šī vide nodrošina saziņas kanālu starp aģentiem, ziņojumi no viena aģenta otram var tikt īslaicīgi saglabāti vidē izpildlaikā. Tas nodrošina, ka ziņojumi adresātiem tiek nogādāti paredzētajā secībā.

Piegādātājam un mazumtirgotājiem var būt ļoti atšķirīgs izstrādes dizains. Piegādātāja aģenta mērķi, pirmkārt, ir samazināt krājumu izmaksas, otrkārt, nekavējoties piegādāt produktu mazumtirgotājiem. Mazumtirgotāja aģenta mērķi, pirmkārt, ir samazināt krājumu izmaksas, otrkārt, kad krājums samazinās līdz pārāk zēmam līmenim, tam jācenšas saņemt tūlītēju palīdzību no citiem mazumtirgotājiem, lai palielinātu krājumus, un treškārt, ja krājumu daudzums ir pārāk liels, tas var nosūtīt daļu no saviem krājumiem citiem mazumtirgotājiem, lai samazinātu krājumus.

Modelis ir ieviests, izmantojot valodu Repast. Pēc aģentu kodēšanas datorprogrammās tie tiek ievietoti vidē, lai savstarpēji mijiedarbotos. Visa saziņa starp aģentiem notiek caur vidi.

Autors ir izstrādājis uz vairākiem aģentiem balstītu imitācijas modelēšanas sistēmu divu ešelonu piegādes ķēdei, kas sastāv no ražotāja (piegādātāja) un trim mazumtirgotājiem un analizē informācijas dalīšanas ieguvumus piegādes ķēdē:

1. *Bez informācijas dalīšanas*: starp piegādātāju un mazumtirgotājiem plūst tikai nepieciešamā informācija, lai pasūtījumi tiktu veikti un piegādāti; piegādātājs ievēro tikai mazumtirgotāju pasūtījumus;

2. *Daļēja informācijas dalīšana*: mazumtirgotāji dalās ar piegādātājiem ar informāciju par to, vai nākamajā laika periodā viņi pasūtīs kādu produktu, bet nedalās ar informāciju par to, kuru produktu viņi pasūtīs un kurš no vairākiem potenciālajiem piegādātājiem saņems pasūtījumu;
3. *Pilnīga informācijas dalīšana*: piegādātājam ir pilnīga informācija par mazumtirgotāja stāvokli un piegādātājs iegūst detalizētu informāciju par veicamajiem pasūtījumiem;
4. *Visaptveroša informācijas dalīšana*: atšķirībā no pārējiem trim režīmiem, kuros ņemtas vērā tikai vertikālās informācijas plūsmas, visaptverošajā informācijas dalīšanas režīmā tiek ņemta vērā horizontālā mijiedarbība, kā arī ārējie spēki.

Daudzaģentu simulācija tika izmantota, lai novērtētu visaptverošas informācijas apmaiņas ietekmi.

1.3.5. Daudzaģentu sistēmas izveidošana uzņēmumam

Autors [29] ierosina uz aģentiem balstītu sistēmu kā tīkla sistēmu biznesa tīklam. Sistēmas lietošanas joma ir piegādes ķēdes vadība reālā biznesa tīklā.

Pētījuma mērķis ir apsvērt aģentu lietošanu piegādes ķēdes vadībai sadarbības uzņēmumos, salīdzinot to ar citām pieejām. Aprakstītā sistēma tika izstrādāta, ieviesta un pārbaudīta reālā biznesa tīklā. Aģentu komunikācijas un sadarbības pamats ir domēna ontoloģija, kas apraksta lietošanas apgabala konceptus. Daudzaģentu sistēma ir izveidota uz *JADE* platformas.

Daudzaģentu sistēmas arhitektūra tika izmantota starpuzņēmumu līmenī, kur katru uzņēmumu pārstāv aģentu grupa. Aģenti vienā uzņēmumā ir atbildīgi par savu darbību koordinēšanu biznesa tīklā, sadarbojoties savā starpā un sazinoties ar aģentiem citos uzņēmumos. Aģenti kā saziņas valodu izmanto *FIPA ACL*, un saziņa starp uzņēmumiem notiek internetā un tiek aizsargāta ar *SSL (Secure Socket Layer)* šifrēšanu.

Ražošanas aģents uzrauga ražošanas procesu. Tas koordinē darbības, kas saistītas ar ražošanas procesu uzņēmuma aģenta konteinerā. *Ražošanas aģents* sadarbojas ar *Ražošanas Koordinēšanas aģentu*, kas atrodas galvenā aģenta konteinerā, lai iegūtu informāciju par ražošanas procesu citos uzņēmumos.

Iepirkuma aģents ir izstrādāts iepirkuma procesu kontroles nolūkos. Tas atrodas uzņēmuma aģentu konteinerā, un atšķirībā no citiem aģentiem tas tieši sadarbojas ar citu uzņēmumu *Iepirkuma aģentiem*. *Iepirkuma aģenti* pārsūta informāciju par iepirkuma procesu, tiem ir konfidenciāla informācija par izmaksām, grafiku un jaudu. Tāpēc sadarbība ir tiešas sarunas starp diviem uzņēmuma aģentiem.

Aģenti sazinās, izmantojot *FIPA ACL*, kas atbalsta ontoloģiju izmantošanu ziņojumu satura noteikšanai. Ontoloģija nosaka aģentu komunikācijas saturu: konceptus un attiecības starp tiem. Īstenotajā sistēmā ontoloģija tiek izmantota ne tikai aģentu komunikācijā, bet arī informācijas apstrādē, komunikācijā starp sistēmas daļām un informācijas glabāšanā datu bāzē. Izstrādātajā ontoloģijā ir divu veidu koncepti: fiziskie un abstraktie (aģenta darbības). Informācijas apstrādei tiek izmantoti fiziskie koncepti, savukārt aģentu saziņai tiek izmantotas aģenta darbības.

1.4. Prasības daudzāģentū sistēmai piegādes ķēdes vadībai

Aprakstītās daudzāģentū sistēmas tika analizētas pēc šādiem kritērijiem: pieprasījuma prognozēšana, ražošanas plānošana, starpmezglu komunikācijas iespēja, krājumu vadības lietošana, informācijas koplietošana un atkārtotas daudzāģentū sistēmas lietošanas iespējas (1.5. tab.).

1.5. tabula

Iepriekšējā apakšnodaļā aprakstīto daudzāģentū sistēmu analīze

	1 [28]	2 [29]	3 [37]	4 [77]	5 [100]
Pieprasījuma prognozēšana	-	-	-	-	-
Ražošanas plānošana un pārplānošana	+	+	+	-	+
Starpmezglu komunikācijas iespēja	+	+	+	+	+
Krājumu vadības lietošana	-	+	+	-	-
Informācijas koplietošana	-	-	-	+/-	-
Atkārtota daudzāģentū sistēmas lietošana	-	-	-	-	-

Esošās daudzāģentū sistēmas nav piemērotas atkārtotai izmantošanai, jo tās ir izstrādātas konkrētiem uzdevumiem, tāpēc tika definētas šādas prasības daudzāģentū sistēmai piegādes ķēdes vadības uzlabošanai:

- 1) spēja darboties ar reāla uzņēmuma datiem;
- 2) spēja paredzēt pieprasījumu;
- 3) ražošanas plānošana un pārplānošana;
- 4) spēja komunicēt ar piegādātājiem un klientiem;
- 5) krājumu vadības metodoloģijas lietošana;
- 6) informācijas koplietošana starp viena uzņēmuma aģentiem;
- 7) atkārtota daudzāģentū sistēmas lietošana.

Tāpēc ir nepieciešams izveidot sadalītu daudzāģentū sistēmu, kas piedāvā piegādes ķēdes funkciju izpildi tādā veidā, lai palielinātu kopējo veiktspēju. Piegādes ķēdes procesi ir sadalīti vairākos aģentos, šie aģenti var veikt savas darbības paralēli, tādējādi samazinot darbības laiku. Izstrādātajai sistēmai jānodrošina informācijas koplietošana starp aģentiem, tādējādi samazinot izpildes laiku, izvairoties no liekas komunikācijas starp aģentiem, kas sīkāk tiek izskaidrots 3. nodaļā.

1.5. Izstrādājamās sistēmas veiktspējas mērīšana un tās rādītāji

Efektīva piegādes ķēdes vadība ir plānota un mērķtiecīga. Uz vērtību orientēta piegādes ķēde, kas atbilst uzņēmuma stratēģiskajām prioritātēm, ir apzinātas vadības darbības un stratēģisko ieguldījumu rezultāts [45].

Veiktspējas mērīšana tiek definēta kā darbības efektivitātes un rezultativitātes noteikšanas process. Rezultatīvitate ir pakāpe, kādā tiek izpildītas klientu prasības, savukārt efektivitate mēra, cik ekonomiski tiek izmantoti uzņēmuma resursi, lai sasniegtu iepriekš noteiktu klientu apmierinātību [2].

Veiktspējas mērīšanā jāaptver visi piegādes ķēdes procesi, to rezultātiem jābūt kvantitatīviem, un rādītājiem jābūt saderīgiem ar piegādes ķēdes mērķiem. Pareiza veiktspējas rādītāju izvēle ir vēl viens svarīgs jautājums. Atbilstošie mērījumi sniedz ieskatu, cik tālu uzņēmums atrodas no tā mērķa sasniegšanas [2].

Visvairāk citēto publikāciju [22, 27, 30, 85] analīze par piegādes ķēdes veiktspējas mērīšanu atklāja, ka efektīvai veiktspējas novērtēšanai jāatspoguļo uzņēmuma mērķis un rādītājiem jābūt finansiāliem un nefinansiāliem. Veiktspējas mērīšana ir unikāla katrai atsevišķai organizācijai, atspoguļojot tās mērķi. Piemēram, zaļajā piegādes ķēdē [30] darbības rādītājiem jāaptver kopējais enerģijas patēriņš, kopējais ūdens patēriņš vai ražošanas izlaides daudzums, kas tiek nodots atpakaļ pārstrādei vai atkārtotai izmantošanai.

Galvenie piegādes ķēdes efektivitātes rādītāji [13]: prognozētā pieprasījuma salīdzināšana ar reālo, ražošanas plāna salīdzinājums ar reālo ražošanas laiku, izejvielu un gatavās produkcijas inventarizācijas dienas filiālēs, piegāde laikā starp uzņēmuma objektiem un citi.

Savukārt [89] piedāvāja efektivitātes rādītājus klasificēt pēc *SCOR* atribūtiem: uzticamība, atsaucība, elastīgums, izmaksas, aktīvu pārvaldība un citiem. Rezultātā tika piedāvāti šādi efektivitātes rādītāji: preces kavējumi (dienās, procentos no visiem pasūtījumiem), preces piegāde laikā (procentos no visiem pasūtījumiem), sūdzību daudzums, pasūtījumu daudzums ar deficītu krājumu līmeņos, ražošanas kopējais laiks, reaģēšanas laiks uz pircēju pieprasījumiem, elastīgums ražošanas, piegādes laika izmainīšanā, ražošanas, uzglabāšanas un izplatīšanas izmaksas, peļņa un citi.

Piegādes ķēdes veiktspējas rādītājus var sadalīt divās plašās kategorijās: kvalitatīvie un kvantitatīvie rādītāji (1.6. tab.).

Kvalitatīvie rādītāji attiecas uz klientu apmierinātību, informācijas un materiālu plūsmas integrāciju un efektīvu riska pārvaldību. Kvantitatīvie rādītāji attiecas uz izmaksu samazināšanu, peļņas maksimizēšanu, pieprasījumu izpildes maksimizēšanu, reaģēšanas uz klientu pieprasījumiem laika minimizēšanu, piegādātāju uzticamību un izpildes laika minimizēšanu [85].

Visbiežāk piegādes ķēdes veiktspējas mērīšanai izmanto šādus rādītājus [27]: pasūtījuma izpildes laiks – laiks no pasūtījuma saņemšanas līdz pasūtīto preču piegādei, preču un izstrādājumu kvalitāte, jaudas izmantošana, plānošanas metode, klientu apkalpošanas līmenis, piegāde laikā, klienta pieprasījuma apstrādes laiks un krājumu izmaksas.

Veiktspējas mērīšanas rādītāji

Kvalitatīvie rādītāji	Kvantitatīvie rādītāji
Klientu apmierinātība	Izmaksu minimizēšana
Informācijas plūsmas integrācija	Peļņas maksimizēšana
Materiālu plūsmas integrācija	Pieprasījumu izpildes maksimizēšana
Risku pārvaldība	Reaģēšanas uz pircēju pieprasījumiem laika minimizēšana
	Piegādātāju uzticamība
	Izpildes laika minimizēšana

Tātad var secināt, ka iepirkuma uzdevuma veiktspējas mērīšanā piegādātāja piegādes laiks un izejvielu kvalitāte ir vissvarīgākie rādītāji. Ražošanas efektivitātes uzlabošanas mērīšanai ir šādi rādītāji: ražošanas laiks, brāķa procents, jaudas izmantošana un izvairīšanās no lieka gaidīšanas laika un klientu apkalpošanas līmenis. Nogādāšanai vissvarīgākais rādītājs ir kvalitatīvu produktu savlaicīga piegāde, savukārt, klienta pieprasījuma apstrādes laiks ietekmē klientu servisa līmeni. Pasūtījuma izpildes laiks un izejvielu kvalitāte tiks ņemti vērā, izvēloties piegādātāju, bet gatavas produkcijas kvalitāti un brāķētu izstrādājumu daudzuma samazināšanu autore promocijas darba ietvaros neapskatīs.

Saskaņā ar prasībām izstrādājamai sistēmai, kas minētas 1.4. nodaļā, izstrādājamās piegādes ķēdes vadības sistēmas veiktspējas rādītāji ir apkopoti 1.7. tabulā. Šī pētījuma mērķis ir nodrošināt sistēmu, kas pilda piegādes ķēdes funkcijas, nodrošinot veiktspējas uzlabošanu, tāpēc veiktspējas rādītāji atspoguļo pētījuma mērķi.

Piegādes ķēdes veiktspējas rādītāji un to kritēriji

#	Piegādes ķēdes veiktspējas rādītāji	Kritērijs
1.	Kopējais ražošanas laiks	Kopējā ražošanas laika samazināšana
2.	Krājumu uzglabāšanas izmaksas	Krājumu samazināšana, bez deficīta gadījumiem
3.	Pircēju pieprasījumu apstrādes laiks	Pieprasījumu apstrādes laika samazināšana
4.	Servisa līmenis	Vēlamā servisa līmeņa sasniegšana

Izstrādātās sistēmas ieguvumus var aprēķināt, izmantojot minētos rādītājus. Servisa līmenis tiek skaitļots pēc formulas (1.1).

$$SL = \frac{P}{D} * 100\% , \quad (1.1)$$

- kur SL – servisa līmenis,
 P – izpildīto pieprasījumu daudzums,
 D – pieprasījumu daudzums.

Šo rādītāju mērķa lielumu sasniegšana virza sistēmu līdz ideālās sistēmas veikspējas sasniegšanai. Izstrādātajai sistēmai nav nepieciešams nodrošināt pārdošanas stratēģiju modifikācijas, tāpēc pārdošanas daudzuma izmaiņas netiks ņemtas vērā. Tāds rādītājs kā piegāde laikā arī netiks ņemts vērā, jo ar produkcijas nogādāšanu bieži nodarbojas cits uzņēmums, ražošana beidzas ar produkcijas iepakojšanu un tās ievietošanu noliktavā.

1.6. Nodaļas apkopojums un secinājumi

Šīs nodaļas sākumā ir dotas piegādes ķēdes un tās vadības definīcijas. Tika apskatīti piegādes ķēdes vadības posmi un tajos iekļautie uzdevumi, kā arī piegādes ķēdes makro procesi un galvenie virzītājspēki un detalizēti aprakstīti plānošanas uzdevumi.

Nodaļas vidū tika analizētas dažādas piegādes ķēdes vadības veikspējas uzlabošanas tehnoloģijas, kā arī tika apskatīti vairāki perspektīvi pētījumu virzieni. Veiktā analīze ļāva secināt, ka katru no pētījumu virzieniem var sekmīgi lietot tā piemērotajiem uzdevumiem: *objektu izvietojanas uzdevums* vislabāk piemērots plānošanas fāzē, *imitācijas modelēšanas lietošanas* priekšrocība ir dažādu stratēģiju lietošana un labākās stratēģijas noteikšana vai piegādes ķēdes labākās konfigurācijas noteikšana. *LEAN ražošanas procesu lietošana* var nodrošināt nepārtrauktu darbības uzlabošanu, izslēdzot liekās un vērtību nepalielinošās darbības piegādes ķēdē. Savukārt *daudzaģentu sistēma* var piedāvāt piegādes ķēdes vadības uzlabošanu, sadalot uzdevumus aģentiem, un tie sadarbosies, lai sasniegtu labākus sistēmas veikspējas rezultātus.

Tika secināts ka daudzāģentu sistēma visvairāk aptver promocijas darba uzdevumus, un nākamais solis bija esošo daudzāģentu sistēmu apskats un analīze. Tika analizēti pieci darbi, kas visvairāk apskata līdzīgus, bet ne vienādus jautājumus kā promocijas darba uzdevumos. Pēc analīzes rezultātiem tika izvirzītas prasības izstrādātajai daudzāģentu sistēmai.

Nodaļas beigās tika definēts veikspējas mērīšanas jēdziens, tika analizēti un izvirzīti efektivitātes rādītāji izstrādātās daudzāģentu sistēmas efektivitātes noteikšanai.

Pēc iegūtiem analīzes un pētījumu rezultātiem tika izdarīti galvenie pirmās nodaļas secinājumi. Pirmkārt, eksistē dažādas metodes piegādes ķēdes vadības veikspējas uzlabošanai, katra no tām ir efektīva konkrētajiem gadījumiem. Otrkārt, esošās daudzāģentu sistēmas tiek izstrādātas atsevišķiem uzdevumiem vai uzņēmumiem un tās nevar lietot atkārtoti. Treškārt, atkārtoti lietojamas daudzāģentu sistēmas izstrādāšana spēj piedāvāt vienotu sistēmu piegādes ķēdes dalībniekiem.

Nākamais solis promocijas darba mērķa sasniegšanai ir izpētīt daudzāģentu sistēmas īpatnības, tās arhitektūru un izstrādāšanu.

2. DAUDZĀĢENTU SISTĒMAS PAMATI UN ĀĢENTU ĪPAŠĪBAS

Nodaļā aprakstīti mākslīgā intelekta aģenti un daudzāģentu sistēmas. Nodaļas sākumā apskatītas aģenta definīcijas un īpašības, sniegta aģentu arhitektūras klasifikācija. Aģentu mijiedarbības iespējas daudzāģentu sistēmās paskaidrotas nodaļas vidū. Nodaļā detalizēti aprakstītas tāfeles (*blackboard*) sistēma un ontoloģija, kā arī to lietošanas priekšrocības. Pārskats par daudzāģentu sistēmu izstrādes platformām dots nodaļas beigās.

2.1. Aģenta definīcija un klasifikācija

2.1.1. Aģenta un daudzāģentu sistēmas definīcijas

Termins “aģents” tiek plaši izmantots, bet nav vienas vispārēji pieņemtas aģenta definīcijas. Tiek piedāvātas dažas definīcijas, kuras autore pieņēma promocijas darba izstrādāšanas laikā:

- Aģents ir jebkas, ko var uzskatīt par tādu, kas uztver savu vidi ar sensoriem un iedarbojas uz šo vidi ar efektoriem [76];
- Autonomi aģenti ir skaitļošanas sistēmas, kas apdzīvo kādu sarežģītu, dinamisku vidi, izjūt un šajā vidē darbojas autonomi un, šādi rīkojoties, īsteno mērķu vai uzdevumu kopu, kurai aģenti ir izstrādāti [43];
- Termins „aģents” apzīmē aparatūru vai (parasti) uz programmatūru balstītu datorsistēmu, kurai piemīt šādas īpašības [97]:
 - *Autonomija*: aģenti darbojas bez tiešas cilvēku vai citu iejaukšanās, un tiem ir sava veida kontrole pār savu rīcību un iekšējo stāvokli;
 - *Sociālās spējas*: aģenti mijiedarbojas ar citiem aģentiem (un, iespējams, ar cilvēkiem), izmantojot aģentu saziņas valodu;
 - *Reaģētspēja*: aģenti uztver savu vidi (kas var būt fiziskā pasaule, lietotājs, citu aģentu kopums internetā vai visi šie kopā) un savlaicīgi reaģē uz izmaiņām, kas tajā notiek;
 - *Proaktivitāte*: aģenti nedarbojas tikai reaģējot uz savu vidi, tie izrāda iniciatīvu un uz mērķi vērstu uzvedību.

Darba ietvaros autore piedāvā apkopot iepriekšminētās definīcijas un uzskatīt, ka aģenta definīcija ir saprotama šādi: **aģents** ir autonoma un proaktīva skaitļošanas sistēma, kas mijiedarbojas ar savu vidi, savlaicīgi reaģē uz vides izmaiņām un var sazināties un sadarboties ar citiem aģentiem vai lietotājiem, lai sasniegtu savu mērķi.

Daudzāģentu sistēmas ir sistēmas, kas sastāv no vairākiem mijiedarbīgiem skaitļošanas elementiem, kas pazīstami kā aģenti [97]. **Daudzāģentu sistēma** sastāv no vairākiem mijiedarbīgiem aģentiem, tāpēc ir sarežģītāka un spējīgāka daudzpusīgāku problēmu risināšanai [29]. Daudzāģentu sistēmas īpašības ir šādas [33]:

- katram aģentam ir nepilnīga informācija vai iespējas problēmas risināšanai, tādējādi katram aģentam ir ierobežots skatpunkts;

- nav globālas sistēmas kontroles;
- dati ir decentralizēti;
- aprēķini ir asinhroni.

Daudzaģentu sistēmas lietošanas priekšrocības ir šādas: aģenti ir dinamiski, autonomi, spēj mijiedarboties ar citiem aģentiem un/vai lietotājiem un datu bāzēm un serveriem, spēj adaptēties jaunos apstākļos, spēj apmācīties, ir proaktīvi, var būt mobili, neatkarīgi, intelektuāli, mērķorientēti, reaktīvi un daudzģentu sistēmās var sadalīt procesus, lai tie darbotos paralēli.

2.1.2. Aģentu klasifikācija

Par pamatu aģentu arhitektūras izstrādāšanā autore ņēmusi divas aģentu klasifikācijas [54, 76]. Pirmā aģentu klasifikācija [54] ietver astoņus aģentu tipus (2.1. att.):

- sadarbības,
- saskarnes,
- mobilie,
- informācijas,
- reaktīvie,
- hibrīdie,
- viedie,
- heterogēnas aģentu sistēmas.

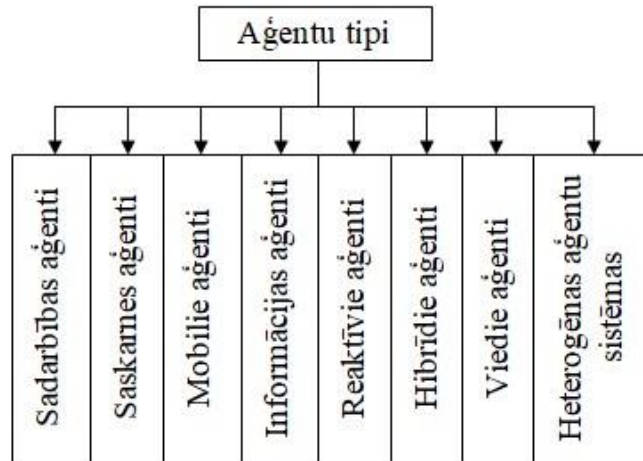
Sadarbības aģenti uzsver autonomiju un sadarbību ar citiem aģentiem, lai veiktu to īpašnieku uzdevumus. Tiem var nākties vest sarunas, lai panāktu abpusēji pieņemamus nolīgumus par dažādiem jautājumiem. Šo aģentu vispārējās īpašības ietver autonomiju, sociālās spējas, atsaucību un proaktivitāti; tie var apmācīties.

Saskarnes aģenti uzsver autonomiju un mācīšanos, lai izpildītu uzdevumus priekš to īpašniekiem. Aģents novēro un uzrauga lietotāja veiktās darbības saskarnē, apgūst jaunas saišnes un turpmāk piedāvā labākus uzdevuma izpildes veidus. Šie aģenti iemācās palīdzēt lietotājiem, mācoties no lietotāja vai no cita aģenta. To sadarbība ar citiem aģentiem aprobežojas ar padomu lūgšanu.

Mobilie aģenti ir programmatūras procesi, kas spēj viesabonēt plaša apgabala tīklus, mijiedarboties ar svešiem mitinātājiem, veikt uzdevumus to īpašnieku vārdā un atgriezties ar izpildītiem noteiktajiem pienākumiem.

Informācijas/interneta aģenti veic daudzu izplatītu avotu informācijas pārvaldību, manipulēšanu ar šo informāciju vai tās salīdzināšanu.

Reaktīvie aģenti ir samērā vienkārši un tie mijiedarbojas ar citiem aģentiem pamatveidos. Šis aģentu tips tiek uzskatīts par moduļu grupu, kas darbojas autonomi, un aģenti ir atbildīgi par konkrētiem uzdevumiem. Saziņa starp moduļiem ir samazināta līdz minimumam, un tai ir diezgan zema līmeņa raksturs. Reaktīvie aģenti parasti darbojas zemā līmenī, kas ir tuvu neapstrādātiem sensoru datiem, atšķirībā no augsta līmeņa simboliskiem attēlojumiem, kas ir raksturīgi citiem līdz šim aprakstītajiem aģentiem.



2.1. att. Aģentu tipi [54].

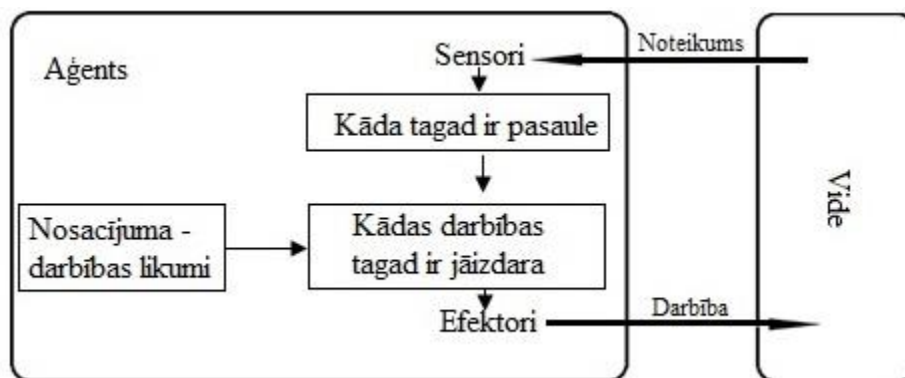
Hibrīdie aģenti ir aģenti, kuri sastāv no divu vai vairāku aģentu filozofiju apvienojumiem vienā aģentā.

Viedie aģenti ir uzlaboti intelektiskie aģenti, kas apkopo visu apskatīto tipu labākās iespējas un īpašības.

Heterogēnas aģentu sistēmas attiecas uz vismaz diviem aģentiem, kas pieder pie divām vai vairākām dažādām aģentu grupām.

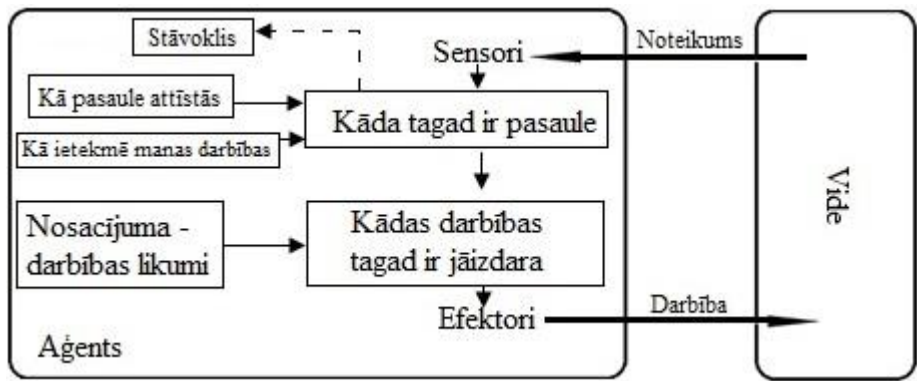
Aģentu arhitektūru var arī klasificēt, iedalot aģentus vienkāršos refleksīvos, modelī balstītos, mērķī balstītos, lietderībā balstītos un ar apmācības iespējām [76].

Vienkāršie refleksīvie aģenti (2.2. att.): šis aģentu tips ir vienkāršākais, jo uztvere ir tieši saistīta ar darbībām, izmantojot nosacījuma-darbības noteikumus. Tas, kas notika pagātnē, tiek ignorēts, jo šiem aģentiem nav atmiņas.



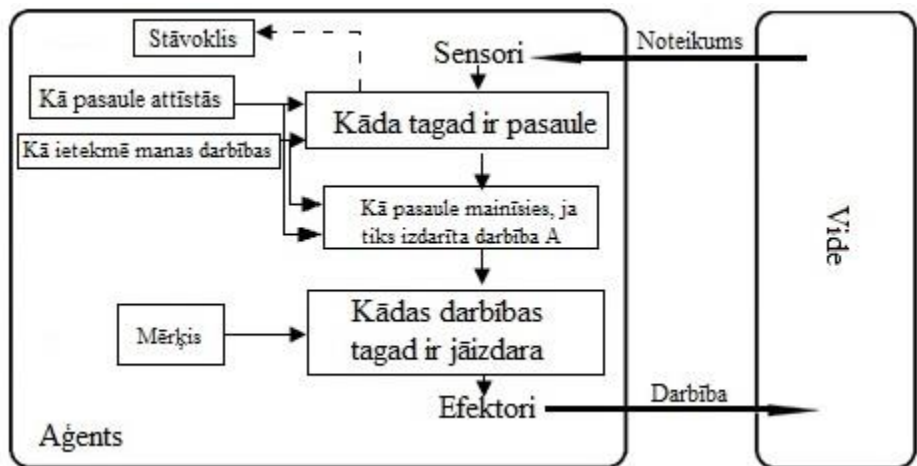
2.2. att. Vienkāršie refleksīvie aģenti [76].

Modelī balstīti refleksīvie aģenti (2.3. att.): tā kā aģenti nespēj uztvert visu savu vidi, modelī balstīti refleksīvie aģenti turpina izsekot to vides daļu, kuru viņi šobrīd var novērot. Tiem ir savs iekšējs vides attēlojums, ko sauc par “pasaules modeli”, lai prognozētu vides attīstību un aģenta darbības ietekmi uz šo vidi. Tāpat kā vienkāršie refleksīvie aģenti, šie aģenti izvēlas savu darbību saskaņā ar nosacījuma-darbības noteikumiem, taču tagad nosacījums ir atkarīgs tikai no pasaules modeļa, nevis no pašreizējās vides uztveres.



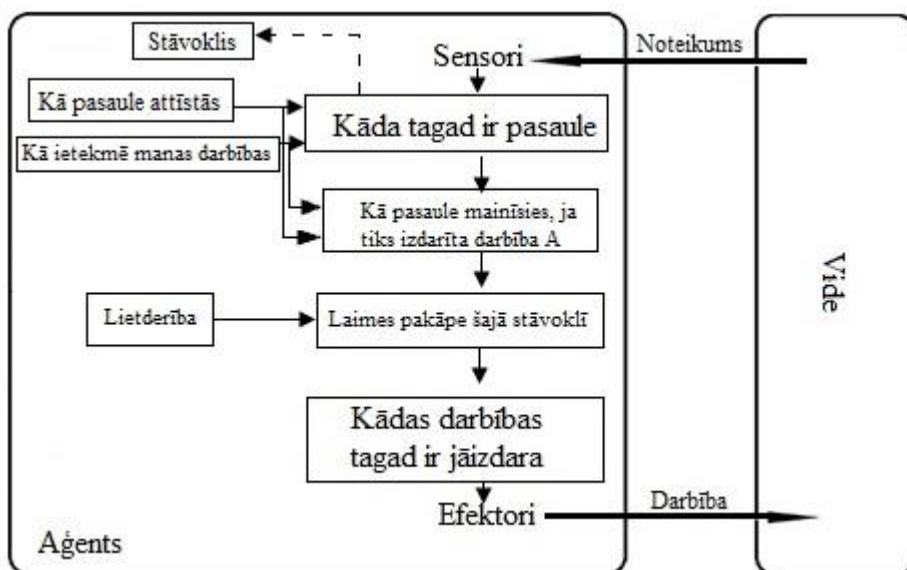
2.3. att. Modelī balstīti refleksiīvie aģenti [76].

Mērķī balstīti aģenti (2.4. att.): šo aģentu tipam ir informācija par mērķi, kas apraksta vēlamās situācijas, jo pašreizējais pasaules modeļa stāvoklis ne vienmēr ir pietiekams, lai efektīvi izvēlētos darbību. Tas ir, pasaules modelis tiek izmantots, lai izstrādātu dažas prognozes par to, kāda būtu pasaule, ja aģents veiktu darbību, un kāda ir cena, kas par to jāmaksā. Veicamā darbība tiek izvēlēta tā, lai saskaņā ar šādām prognozēm tiktu izpildīts mērķis.



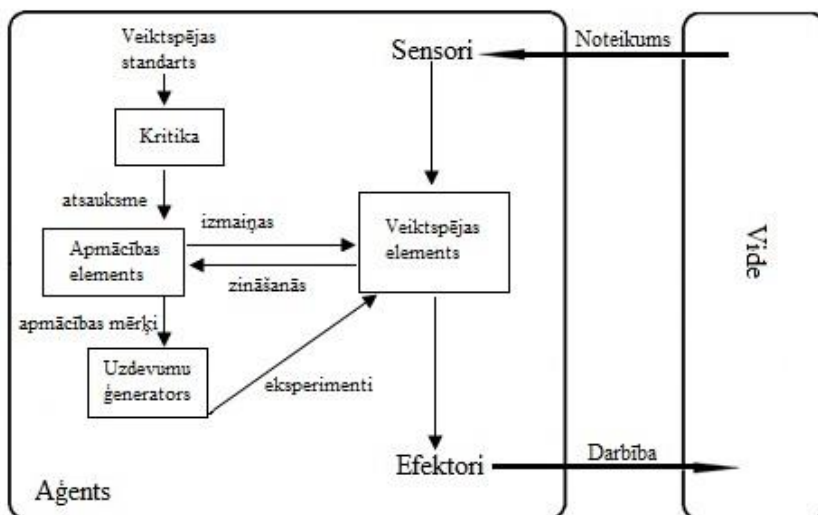
2.4. att. Modelī un mērķī balstīti aģenti [76].

Lietderībā balstīti aģenti (2.5. att.): mērķi vienkārši atšķir vēlamus stāvokļus no nevēlamiem stāvokļiem, nesniedzot sīkāku informāciju, piemēram, ātrumu, cenu vai drošību, lai sasniegtu vēlamo stāvokli. Rezultātā, lai uzlabotu aģentu uzvedības kvalitāti, aģentiem var piešķirt lietderības funkciju, kas pasaules stāvoklī apzīmē tā stāvokli (vai stāvokļu secību), izmantojot reālo skaitli, kas raksturo saistīto aģenta labuma pakāpi. Salīdzinot ar uz mērķi balstītiem aģentiem, aģenti, kas balstīti uz lietderības sasniegšanu, neizlemj, kuras darbības jāveic mērķa sasniegšanai, bet gan darbības, kuras jāveic, lai palielinātu lietderību, šie aģenti atrod labākas darbības saskaņā ar dotajiem rādītājiem.



2.5. att. Lietderībā balstīti aģenti [76].

Aģenti ar apmācības iespējām (2.6. att.): viena no priekšrocībām ir to pielāgošanās nezināmā videi un to uzvedības uzlabošanās ar laiku. Šie aģenti izmanto kritiķa atsauksmes, lai uzzinātu, kuri priekšstati par apkārtējo vidi ir vēlama, un attiecīgi – kā izturēties. Precīzāk, aģentu mācīšanās ir to turpmākās darbības uzlabošana, pamatojoties uz iepriekšējām kritiķu atsauksmēm, optimizējot to uzvedību tā, lai maksimāli palielinātu lietderību, kad pasaule turpina attīstīties.



2.6. att. Aģenti ar apmācības iespējām [76].

Promocijas darbā izvēlēta heterogēna aģentu sistēma un mērķī balstīti aģenti. Šajā darbā netika izvēlēti aģenti ar apmācības iespējām, bet pastāv iespēja tos apskatīt un izmantot turpmākajos pētījumos.

2.2. Mijiedarbība starp aģentiem daudzāģentu sistēmā

Aģenta galvenā iezīme ir tā spēja mijiedarboties ar savu vidi. Aģents uztver savu vidi, izmanto to, ko uztver, lai izvēlētos darbību, un pēc tam veic darbību ar tā efektoru palīdzību [91]. Saskaņā ar [76] cilvēka aģentam ir acis, ausis un citi orgāni sensoriem, kā arī rokas, kājas, mute un citas ķermeņa daļas efektoriem; robotizēts aģents aizvieto šos sensorus ar kameras un infrasarkanā diapazona meklētāju sensoriem un efektorus – ar dažādu motoru efektoriem; programmatūras aģents ir kodēts ar bitu virknēm to uztverei un darbībām.

Daudzāģentu sistēmas gadījumā aģentiem var būt nepieciešams mijiedarboties savā starpā, un šie mijiedarbības veidi ir šādi [100]:

- sadarbība – darbība kopīga mērķa sasniegšanai;
- koordinēšana – problēmu risināšanas aktivitātes organizēšana, lai izvairītos no kaitīgas mijiedarbības vai lai tiktu izmantota labvēlīga mijiedarbība;
- pārrunas – vienošanās panākšana, kas ir pieņemama visām iesaistītajām pusēm.

Aģentu mijiedarbībai ir nepieciešams saziņas veids. Autores veiktā esošo daudzāģentu sistēmu pētījumu [62, 74, 102] analīze atklāja, ka esošās daudzāģentu sistēmas aģentu komunikācijai izmanto tāfeles sistēmu [12, 19, 47, 57, 90] vai ontoloģiju [4, 15, 29].

2.2.1. Tāfeles sistēma

Tāfeles (*blackboard*) sistēma ir sarežģītu uzdevumu risināšanas stratēģija, izmantojot dažādus zināšanu avotus, kas sazinās, izmantojot kopīgu informācijas glabātuvu [74].

Tāfeles sistēmu var iztēloties kā cilvēku speciālistu grupu blakus lielai tāfelei. Viņi sadarbojas, lai atrisinātu problēmu, un viņi izmanto tāfeli kā darba vietu risinājuma izstrādei. Problēmu risināšana sākas ar problēmas paziņošanu un sākotnējo datu ierakstīšanu uz tāfeles. Speciālisti skatās uz tāfeli, meklējot iespēju sniegt ieguldījumu risinājumu izstrādē. Kad speciālists atrod šo iespēju, viņš pieraksta rezultātu uz tāfeles, cerot, ka citi izmantos viņa ieguldījumu galīgajā problēmas risināšanā. Šis process turpinās, līdz problēma tiek atrisināta.

Tāfeles sistēma sastāv no trim komponentiem: zināšanu avotiem, tāfeles un kontroles komponenta [19]. *Zināšanu avoti* ir neatkarīgi moduļi, kas satur zināšanas problēmu risināšanai. Tiem nav jāzina par citu esamību, bet tiem ir jāsaprot problēmu risināšanas procesa stāvoklis un attiecīgās informācijas attēlojums uz tāfeles. Zināšanu avotus var attēlot dažādi: tie var ietvert uz likumiem balstītas sistēmas, uz gadījumiem balstītas sistēmas, neironu tīklus, nestriktās loģikas sistēmas, ģenētiskos algoritmus, mantotās programmatūras sistēmas. *Tāfele* ir globāli pieejama datu bāze, kuru izmanto starpposma un daļējiem rezultātiem, alternatīvām un gala risinājumiem. *Kontroles komponents* pieņem izpildlaika lēmumus par to, kuru zināšanu avotu izpildīt kā nākamo, lai atrisinātu problēmu.

Tāfele sākotnēji tika izstrādāta kā metodoloģija sarežģītu, nepareizi noteiktu problēmu risināšanai. Pirmais pazīstamais piemērs ir *Hearsay II* runas atpazīšanas sistēma [74].

2.2.1.1. Tāfeles sistēmas lietošanas priekšrocības

Tāfeles sistēmas lietošana var piedāvāt šādas priekšrocības [74, 75]: dažādu zināšanu avotu integrāciju, modularitāti, elastību, paplašināmību, efektivitāti un kvalitāti, oportunistisko sadarbību un programmatūras atkārtotu izmantošanu (2.1. tab.).

2.1. tabula

Tāfeles sistēmas lietošanas priekšrocības un to apraksti

	Priekšrocība	Priekšrocības apraksts
1	Dažādu zināšanu avotu integrācija	Zināšanu avoti var ietvert neironu tīklus, ģenētiskus algoritmus, uz noteikumiem balstītās sistēmas u.c.
2	Modularitāte	Katrs zināšanu avots ir neatkarīgs, kas atvieglo izstrādi un uzturēšanu.
3	Elastība	Tāfeles arhitektūra ļauj tāfeles lietojumprogrammām daudz elastīgāk pielāgoties mainīgām prasībām nekā tradicionālās procesuālās programmatūras lietojumprogrammas.
4	Paplašināmība	Sistēmā var izstrādāt un lietot jaunus zināšanu avotus, nemainot esošo sistēmu un nenosakot to esamību citos zināšanu avotos.
5	Efektivitāte un kvalitāte	Vairāk nekā viens zināšanu avots spēj veikt vienu un to pašu funkciju, tāpēc vadības komponents var izvēlēties to, kurš sniegs vislielāko labumu no topošā risinājuma.
6	Oportunistiska sadarbība	Zināšanu avoti uz tāfeles var izvietot daļējus risinājumus, ar domu, ka kāds cits zināšanu avots spēs paņemt šos daļējos risinājumus un atrast galīgo risinājumu.
7	Programmatūras atkārtota izmantošana	Jaunas lietojumprogrammas var viegli izveidot, izmantojot esošos zināšanu avotus, tradicionālās procesuālās programmatūras ieguldījumi var tikt saglabāti, jo tos var iekļaut kā zināšanu avotus; pati tāfele ir neatkarīga no lietojumprogrammām un viegli piemērojama jaunām problēmu jomām.

2.2.1.2. Tāfeles sistēmas lietošana un ieviešana

Autore pārskatīja tāfeles sistēmas lietojumu publikācijā [74]. Pārsvārā tāfeles sistēma tiek izmantota izvietojuma-pārvietošanas uzdevumā, datu interpretācijā un vides izmaiņu uzraudzībā. Autore piedāvāja izmantot tāfeles arhitektūru produkta dzīves cikla fāzes definēšanas uzdevumā [75]. Saskaņā ar [21], tāfeles arhitektūru var īstenot vismaz divos veidos – ar *T Spaces* un *JavaSpaces* palīdzību: *T Spaces* ir uz notikumiem balstītas tāfeles arhitektūras lietojumprogramma. Tas ir starpprogrammatūras komponents, kas nodrošina grupas komunikāciju un notikumu paziņošanas pakalpojumus. Tāfele satur informāciju, kuru

var izmantot. Lietojumprogrammas saskarne īsteno kontroles politikas funkciju, izmantojot netiešu piesaisti. Datu autors un patērētājs, zināšanu avoti, viens ar otru nav saistīti. Tādējādi tos var viegli pievienot sistēmai vai atdalīt no tās. *JavaSpaces* ir paredzēts, lai nodrošinātu vienkāršu vienotu mehānismu dinamiskai saziņai, koordinācijai un datu un objektu koplietošanai. Tas arī īsteno uz notikumiem balstītu tāfeles arhitektūru. Dati vai objekti tiek glabāti laukumos, kopīgojot starp pakalpojumu sniedzējiem un pieprasītājiem netiešas piesaistes veidā.

2.2.2. Ontoloģija kā līdzeklis aģentu saziņai

1993. gadā tika ierosināta ontoloģijas definīcija: “**Ontoloģija** ir precīzi formulēta konceptualizācijas specififikācija” [25]. Četrus gadus vēlāk autors [10] papildināja šo definīciju šādi: “**Ontoloģijas** tiek definētas kā kopīgas konceptualizācijas formāla specififikācija”. Bet jau 1998. gadā autori [84] apvienoja šīs divas definīcijas šādi: “**Ontoloģija** ir formāla, precīzi formulēta koplietojama konceptualizācijas specififikācija”. Šajā definīcijā “*konceptualizācija*” ir abstrakts, vienkāršots pasaules skatījums. Termins “*precīzi formulēta*” nozīmē, ka tiek skaidri definēti izmantoto jēdzienu veidi un to izmantošanas ierobežojumi. Termins “*formāla*” norāda uz to, ka ontoloģija jābūt mašīnlasāma. Termins “*koplietojama*” atspoguļo uzskatu, ka ontoloģija satur vienprātības zināšanas, tā nav privāta kādam indivīdam, bet gan akceptēta grupā [26, 29]. Formāli, ontoloģiju var definēt [79] kā kortežu (2.1):

$$O = (C, H, I, R, P, A), \quad (2.1)$$

- kur *C* – ontoloģijas entītijū (konceptu) kopums;
H – konceptu taksonomisko attiecību kopums, kas nosaka konceptu;
I – attiecību kopums starp ontoloģijas elementiem un tās eksemplāriem;
R – ontoloģijas attiecību kopums, kas nav ne “*kind_of*”, ne “*is_a*” attiecības;
P – ontoloģijas klašu īpašību kopums;
A – aksiomu kopums.

Mākslīgajā intelektā ontoloģijas tiek izmantotas, lai atvieglotu zināšanu apmaiņu un atkārtotu izmantošanu. Intelektisko fizisko aģentu fonds (*FIPA, Foundation for Intelligent Physical Agents*) aģenta ontoloģiju definē kā kopēju saskaņoto definīciju vārdu krājumu un šo definīciju savstarpējās attiecības, lai aprakstītu konkrētu priekšmetu. Šajā komunikācijas modelī aģentiem ir kopīga saziņas ontoloģija ar definētiem saziņas protokoliem. Lai sazinātos, aģentiem ir jādalās arī ar sava lietojuma jomas ontoloģiju un jāvienojas par terminoloģiju, ko izmanto, lai to aprakstītu [24, 29].

Aģenti nesūta atsevišķus ziņojumus, tie sazinās saskaņā ar iepriekš definētu saziņas protokolu. Šī saziņa ir orientēta uz uzdevumu; aģenti sūta ziņojumus viens otram, lai sasniegtu noteiktus mērķus: informēt, brīdināt, izsaukt palīdzību vai dalīties zināšanās [29].

2.2.2.1. Ontoloģijas klasifikācija

Saskaņā ar [8] ontoloģijas var klasificēt kā zināšanu reprezentācijas, vispārējā vai vispārpieņemtā, augstākā līmeņa, domēna, uzdevumu, domēna uzdevuma, metodes un lietošanas ontoloģijas:

- *Zināšanu reprezentācijas ontoloģija* atspoguļo reprezentācijas pamatus, ko izmanto zināšanu formalizēšanai noteiktā zināšanu reprezentācijas paradigmā;
- *Vispārējā vai vispārpieņemtā ontoloģija* ataino vispārpieņemtas zināšanas, kuras atkārtoti jāizmanto starp jomām. Ontoloģijas vārdu krājumā ir termini, kas saistīti ar lietām, notikumiem, laiku, telpu utt.;
- *Augstākā līmeņa ontoloģija* apraksta ļoti vispārīgus jēdzienus, kā arī sniedz vispārīgus priekšstatus, ar kuriem jāsaista visi esošo ontoloģiju saknes vārdi. Tomēr esošās augstākā līmeņa ontoloģijas nodrošina atšķirīgus kritērijus, lai klasificētu vispārīgākos jēdzienus;
- *Domēna ontoloģija* ir ontoloģija, ko var atkārtoti izmantot noteiktā jomā;
- *Uzdevumu ontoloģija* apraksta ar vispārīgu uzdevumu vai darbību saistītu vārdu krājumu, augstākā līmeņa ontoloģiju terminos;
- *Domēna uzdevuma ontoloģija* ir uzdevuma ontoloģija, kas atkārtoti izmantojama konkrētajā domēnā, bet ne visos domēnos;
- *Metodes ontoloģija* sniedz definīcijas attiecīgajiem jēdzieniem un attiecībām, kuras tiek izmantotas, lai precizētu spriešanas procesu konkrēta uzdevuma sasniegšanai;
- *Lietošanas ontoloģija*: tajā ir visas definīcijas, kas vajadzīgas, lai modelētu zināšanas, kas vajadzīgas konkrētajam lietojumam.

Promocijas darba ietvaros tiks izstrādātas un lietotas domēna ontoloģijas starpmezglu aģentu mijiedarbībai.

2.2.2.2. Ontoloģijas izstrādāšanas soļi

Ja tiek noteikts, ka gatava piemērota taksonomija/ontoloģija nepastāv, tad tās izstrāde sākas ar galveno jēdzienu definīcijām, kuras izmanto, lai izteiktu nepieciešamās zināšanas konkrētai uzņēmējdarbības (komerciālai) darbībai.

Nākamais solis ir klašu hierarhijas noteikšana. Aprakstot terminus un konceptus, ir jāizmanto šāds noteikums: *ja A klase ir B klases superklase, tad katrs B klases gadījums ir A klases eksemplārs.*

Klases īpašību noteikšana ir nākamais ontoloģijas izstrādāšanas solis. Klases īpašības ir atšķirīgs informācijas tips dažādiem tās pašas klases eksemplāriem.

Domēna apgabala termini jau ir iedalīti klasēs; visticamāk, ka lielākā daļa atlikušo terminu ir šo klašu īpašības. Ir nepieciešams definēt kuru klasi raksturo īpašība. Šīs īpašības kļūst par slotiem pievienotajām klasēm.

Nākamais solis ir slotu ierobežojumu noteikšana. Slotiem var būt dažādi ierobežojumi, kas apraksta vērtības tipu, atļautās vērtības, vērtību skaitu un citas slotu īpašības.

Pēdējais solis ir eksemplāru izveidošana. Autore izmantoja šos izstrādāšanas soļus un ir izstrādājusi ontoloģiju izejvielu vadības uzdevumam [64].

2.2.2.3. Ontoloģijas izstrādāšanas rīks *Protégé*

Ontoloģijas izstrādāšana realizēta, izmantojot *Protégé* ontoloģijas redaktoru; *Protégé* ir viens no ontoloģijas izstrādāšanas rīkiem, tas ir bezmaksas atvērtā koda ontoloģijas redaktors un intelektisko sistēmu izstrādāšanas ietvars [51].

Protégé ontoloģija sastāv no klasēm, slotiem un ierobežojumiem. Klases un sloti ir ietvari. Klases *Protégé* veido taksonomisku hierarhiju. Ietvariem pievienotie sloti apraksta attiecīgā ietvara īpašības. Ierobežojumi raksturo slotu īpašības un ierobežojumus, t.i., slotu tipu [67].

2.2.2.4. Ontoloģijas novērtēšanas pieejas

Ontoloģija nodrošina kanālu, caur kuru programmatūras aģenti mijiedarbojas; tāpēc, ja ontoloģijas netiek novērtētas, komunikācija starp programmatūras aģentiem var neizdoties [65, 70]. Ontoloģijas novērtēšanas uzdevums ir izmērīt ontoloģijas kvalitāti. Ontoloģija nodrošina, ka datu nozīme, ar kuriem notiek apmaiņa starp sistēmām, ir atbilstoša un tiek koplietota starp datoriem un cilvēkiem. Ontoloģija ļauj visiem dalībniekiem runāt kopīgā valodā [95].

Literatūras avotos ir apskatītas dažādas ontoloģijas novērtēšanas pieejas atkarībā no tā, kāda veida ontoloģijas tiek novērtētas un kādam nolūkam. Lielākā daļa no novērtēšanas pieejām pieder vienai no šīm kategorijām [11]:

- salīdzinot ar datu avotu (piemēram, dokumentu) par jomu, uz kuru attiecas ontoloģija;
- ontoloģijas izmantošana lietojumprogrammā un rezultātu novērtēšana;
- ontoloģijas salīdzināšana ar “zelta standartu”, kas pats par sevi var būt ontoloģija;
- ar cilvēka palīdzību, kurš novērtē, cik labi ontoloģija atbilst iepriekš noteiktiem kritērijiem, standartiem, prasībām utt.

Promocijas darba autore novērtēšanas pieeju pārbaudei piedāvāja konstruēt vienam uzdevumam piecas dažādas ontoloģijas [65]. Tika izstrādātas šādas ontoloģijas: pirmajā ontoloģijā (1) ir tikai hierarhiskās attiecības (taksonomija), otrajā ontoloģijā (2) – taksonomija ar gramatiskām kļūdām, trešā (3) neaptver visu domēna apgabalu (nepilna), ceturtnā ontoloģija (4) aptver visu domēna apgabalu un piektā ontoloģija (5) ir saistīta ar ražošanu, nevis ar izejvielu pasūtījumu. Piecas ontoloģijas tika novērtētas pēc četrām augstāk minētām novērtēšanas pieejām.

A. Salīdzināšana ar datu avotu

Šajā pieejā ontoloģiju novērtē, salīdzinot to ar tekstuāliem dokumentiem par jomu, uz kuru attiecas ontoloģija. Tika paņemts izejvielu iepirkuma procesa dokuments un tika veikts izstrādāt ontoloģiju salīdzinājums ar dokumentu (2.2. tab.). Vispirms tika uzdoti divi jautājumi: cik daudz vārdu no dokumenta ir ontoloģijā? Cik daudz vārdu nav?

2.2. tabula

Precizitāte un atsaukšana piecām ontoloģijām pēc šīs novērtēšanas pieejas

Ontoloģijas numurs	1	2	3	4	5
Precizitāte	64%	41%	59%	72%	32%
Atsaukšana	84%	50%	72%	89%	41%

Domēnam raksturīgo terminu un ontoloģijā esošo terminu pārklāšanās tika izmantotas, lai izmērītu leksisko atslēgvārdu pārklājumu ar ontoloģijas terminiem. Nākamais solis bija atrast līdzību jēdzienu pareizrakstībā. Viens konceptu kopums tika salīdzināts ar dokumenta terminu kopumu. Šis solis tika veikts ar Levenšteina attāluma metodi (2.3. tab.).

2.3. tabula

Levenšteina attāluma metode

Ontoloģijas numurs	1	2	3	4	5
Levenšteina attāluma metode	16	30	14	16	0

Balstoties uz iegūtiem rezultātiem (2.2. tab., 2.3. tab.) tika izvēlēta ceturta ontoloģija kā visvairāk piemērotāka [65].

B. Ontoloģijas izmantošana lietojumprogrammā un rezultātu novērtēšana

Tika piedāvāts novērtēt ontoloģijas izmantojot tās lietojumprogrammās un analizēt to darbības rezultātu [70].

Promocijas darba autore izstrādātās ontoloģijas pārveidoja *JADE* klasēs un izmantoja *NetBeans IDE* kā integrēto izstrādes vidi rezultāta novērtēšanai [65]. Piecas ontoloģijās balstītas daudzāģentu sistēmas ir parādījušas šādus rezultātus: problēmas risināšanai nepietiek ar pirmās, otrās, trešās un piektās ontoloģijas lietošanu; ceturta ontoloģijas lietošanas gadījumā ir parādīti vislabākie novērtēšanas rezultāti, tika panākta sadarbība starp aģentiem.

C. Zelta standarta pieeja

Zelta standarta [11, 95] pieejas ideja ir novērtējamās ontoloģijas konceptu salīdzināšana ar “zelta standartu”, kas var būt vēl viena ontoloģija, kuru uzskata par labu apskatāmās problēmas apgabala konceptu attēlojumu, vai arī to var ņemt no dokumentiem vai izveidot standartu ar eksperta palīdzību [65].

Šajā pētījumā ceturta ontoloģija tika pieņemta kā zelta standarts un tā tika salīdzināta ar pārējām. Rezultāti parādīja, ka pirmajai ontoloģijai un trešajai ontoloģijai ir labāki rezultāti nekā otrajai un piektajai ontoloģijai, pieņemot ka ceturta ontoloģija ir zelta standarts.

D. Iepriekšdefinēti ontoloģijas novērtēšanas kritēriji

Šī ontoloģijas novērtēšanas pieeja ir labākās ontoloģijas izvēle no ontoloģiju kopas, kas definēta kā lēmumu pieņemšanas uzdevums. Ontoloģijas novērtēšanai jādefinē vairāki

lēmuma kritēriji vai atribūti, ontoloģiju novērtē pēc katra kritērija un piešķir skaitlisku punktu skaitu. Pēc tam kopējo ontoloģijas punktu skaitu aprēķina kā kopsummam par katru kritēriju.

Autore ir izvēlējusies piecus kritērijus ontoloģiju novērtēšanai [65]: pilnīgumu, precizitāti, skaidrību, kodolīgumu un nepretrunīgumu, šo kritēriju svāri ir dilstoši. Lēmuma pieņemšanai tika lietota Hierarhijas analīzes metode [42]:

1. tika precizēts uzdevuma mērķis;
2. tika izveidots hierarhijas koks: saknes mezgls ir uzdevuma mērķis, starposma līmeņi ir kritēriji – precizitāte, skaidrība, pilnība, kodolīgums un konsekvence, un zemākais līmenis satur alternatīvas;
3. tika izveidotas pāra salīdzināšanas matricas ar lēmumu koka kritērijiem katrai mezglu kopai. Katrai salīdzināšanas matricai tika aprēķināts pašvektors;
4. tika novērtētas tās īpašības ņemot vērā katru alternatīvo ontoloģiju. Katrai īpašībai ir tika noteikts atbilstošs vērtējums no skalas.
5. tika apvienoti 3. solī iegūtie svaru vektori ar alternatīvu vērtībām.

Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem, tiek izvēlēta piemērotākā ontoloģija (2.4. tab.).

2.4. tabula

Pieejas rezultāts ar iepriekšdefinētiem ontoloģijas novērtēšanas kritērijiem

Ontoloģija	Gala rezultāts
1. ontoloģija	0,575
2. ontoloģija	0,305
3. ontoloģija	0,551
4. ontoloģija	0,852
5. ontoloģija	0,340

Ontoloģijas novērtēšanas pieeju detalizēts apraksts un iepriekš minētie novērtēšanas pieejas soļi un rezultāti ir parādīti autores darbā [65].

2.2.2.5. Loģiskā secināšana Protégé redaktorā

Loģiskajai secināšanai tiek izmantots *JESS* (Java Expert System Shell), kas ir likumu dzinējs un skriptu vide; izmantojot *JESS*, var izveidot *Java* programmatūru, kas spēj “spriest”, izmantojot zināšanas, kuras tas piegādā deklarātīvo likumu veidā.

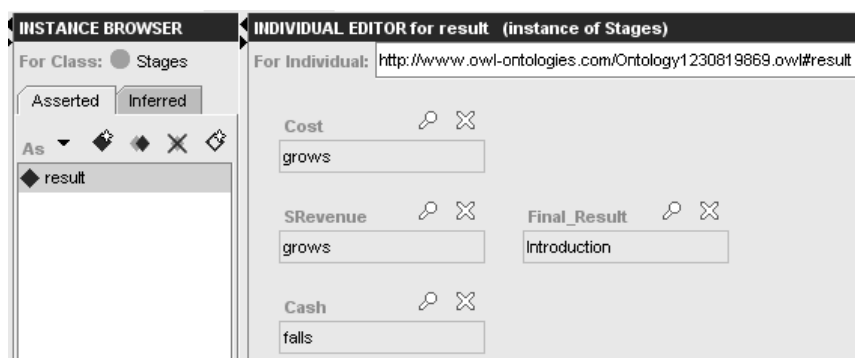
JessTab ir *Protégé* spraudnis, kas ļauj lietot *JESS* un *Protégé* kopā. *JessTab* nodrošina *JESS* konsoles logu, kur, darbojoties *Protégé*, ir iespējama mijiedarbība ar *JESS*. Turklāt *JessTab* paplašina *JESS* ar papildu funkcijām, kas ļauj kartēt *Protégé* zināšanu bāzes *JESS* faktos.

Ir iespējams izmantot *JessTab* kā objekt-orientētu *JESS* paplašinājumu, definējot *Protégé* klases un aktualizējot tās. Autore piedāvāja produkta dzīves cikla uzdevumā lietot *JESS* un *JessTab* spraudni *Protégé* rīkā [67]. Secināšanas likumi šim problēmas apgabalam atšķiras no *JESS* formāta, tāpēc viens *JessTab* likums ir atspoguļots 2.5. tabulā.

JessTab likuma piemērs

Likums	JessTab likums Protégé rīkā
If the cost of development and manufacture grow and sales revenue grow, and cash flow falls, then the stage of a product is introduction	<pre>(defrule stage_definition1 (object (is-a Stages) (Cost "grows") (SRevenue "grows") (Cash "falls")) => (slot-set result Final_Result "Introduction"))</pre>

2.7. att. parāda eksemplāru *result* ar aizpildītiem slotu laukiem. Gala rezultāts tika atklāts pēc 14 likumu palaišanām: viens no tiem tika parādīts iepriekš, tika palaisti arī maksimālās un minimālās vērtības likumi, kā arī pārējie likumi. Šajā uzdevumā [67] rezultāts bija posms “Ievads”. Autore izpētīja JESS un JessTab lietošanu [67, 68].



2.7. att. JessTab likumu rezultāts Protégé 3.4 beta rīkā [67].

Raksti [104, 105] promocijas darba autori ir iedvesmojuši uzsvērt, ka secināšanas likumi ir ontoloģijas atšķirīga iezīme, kas savukārt padara ontoloģiju par instrumentu dažādu problēmu risināšanai [66].

Ontoloģijas izmantošanu kā domēna apgabala modeli nosaka vairākas secināšanas procedūras, piemēram: mantošana, vērtēšana, papildu procedūras un saistītās procedūras. *Mantojuma procedūra* – ir secināšanas process, kurā katra apakšklase manto savu superklases īpašību vērtības. *Vērtēšanas procedūra* – ir procedūra, kurā daži vai visiem ieejas mainīgajiem tiek piešķirtas noteiktas vērtības. Ontoloģijas fragmenti, risinot konkrētus uzdevumus, ir materiāls, lai aprakstītu situāciju, kuru nosaka ieejas dati. Papildus šiem fragmentiem ir jāiekļauj koncepti un attiecības, ko nosaka ievadnosacījumi. Tas tiek paveikts ar *papildu procedūrām*. *Saistītā procedūra* ir metode, ar kuras palīdzību tiek veiktas īpašas procedūras noteiktu konceptu un attiecību apstrādei [66].

Autore konstruēja domēna ontoloģiju katedrāles zelta griezuma uzdevumam [66] šādā veidā: vispirms tika definētas klases un to hierarhija, pēc tam definētas klašu īpašības (sloti) un slotu ierobežojumi, kā arī tika izveidoti eksemplāri. Risinājums, izmantojot domēna ontoloģiju, ir šāds:

- Daži vai visi ieejas mainīgo lielumi saņem noteiktas vērtības, izmantojot vērtēšanas procedūru;

- Mantojuma procedūra apvieno vidēja augstuma baznīcu īpašības, jo tām ir vienāds izmērs un rotājumi. Pēc šā mantojuma principa procedūra darbojas arī mazām baznīcām;
- Saistītās procedūras atrod nezināmo mainīgo lielumus, kas nepieciešami uzdevuma risināšanai.

Izmantojot ontoloģiju un secināšanas procedūras, var aprēķināt jebkuru katedrāles parametru [66], zinot vienu no tās mainīgajiem lielumiem (katedrāles torņa augstumu, platumu vai diametru).

Secināšanas likumi padara ontoloģiju par dažādu uzdevumu risināšanas instrumentu. Viena no ontoloģijas izmantošanas priekšrocībām ir sistemātiska pieeja priekšmeta apgabala izpētei; turklāt ontoloģijas attīstība ļauj pilnībā atjaunot trūkstošās loģiskās saites [66].

2.2.3. Autores secinājums par aģentu sazināšanās veida izvēli

Daudzaģentu sistēmas ir piemērotas jomām, kurās notiek mijiedarbība starp dažādiem cilvēkiem vai organizācijām ar atšķirīgiem un, iespējams, pretrunīgiem mērķiem, un slepenu informāciju. Tad piegādes ķēde tiek uzskatīta par intelektisku aģentu kopumu, kur katrs aģents ir atbildīgs par vienu vai vairākām darbībām piegādes ķēdē. Ontoloģija savukārt apraksta priekšmeta apgabalu un kļūst par mehānismu, kas palīdz izprast un analizēt informācijas plūsmu starp aģentiem. Ontoloģijas izmantošana daudzāģentu sistēmai nodrošina šādas priekšrocības: ontoloģija ļauj zināšanas strukturēt un ar tām dalīties; palielina daudzāģentu sistēmas uzticamību; nodrošina mijiedarbības pamatu starp aģentiem [62].

Saziņu starp aģentiem daudzāģentu sistēmā var panākt, izmantojot tāfeles arhitektūru. Tie nesazinās cits ar citu, bet izmanto tāfeli kā centrālo depoziitāriju, tur ievieto datus, un aģenti gaida sev piemērotus datus, lai sniegtu savu ieguldījumu. Aģenti strādā konsekventi; tāfele tiek izmantota kā centrālā krātuve visai kopīgajai informācijai. Visi aģentu daļēji iegūtie rezultāti tiek izlikti uz tāfeles, un citi aģenti tos izmanto, tiklīdz tiek atrasts galīgais risinājums [74].

Autore uzskata, ka ontoloģijas lietošana aģentu saziņai ir perspektīvākais sazināšanās veids, un piedāvā ieviest daudzāģentu sistēmā informācijas koplietošanu līdzīgi, kā tāfele ir tāfeles arhitektūrā.

2.3. Aģentu izstrādāšanas ietvaru analīze

Pastāv vairāki pārskati un aptaujas par aģentu izstrādāšanas ietvariem un platformām [6, 9, 38], tāpēc autore piedāvā tos analizēt atbilstoši prasībām. Lai izvēlētos izstrādāšanas ietvaru ar vēlāmo vērtību, ir šādi atribūti: cena – bezmaksas; veiktspēja – augsta; standarta savietojamība – *FIPA* (lai sadarbotos ar citiem aģentiem, kas atbilst vienam un tam pašam standartam); apguve – ērts un augsts lietotāju atbalsts. Atribūti ir uzskaitīti dilstošā secībā pēc to nozīmīguma, kas nozīmē, ka izmaksas ir vissvarīgākais atribūts ietvaru atlasē.

Vispiemērotākais ietvars ir bezmaksas, ar augstu veiktspēju, saderīgs ar *FIPA* standartu, ar augstu lietotāju atbalstu un ar vieglu iemācīšanās iespēju – *JADE*. Autori [6, 34, 38, 49] nosauc *JADE* par populārāko ietvaru.

Autore piedāvāja izmantot *JADE* kā daudzāģentu sistēmas izstrādes ietvaru piegādes ķēdes vadības uzdevumam 2011. gadā [62]. Galvenie iemesli bija, pirmkārt, iepriekš saņemtās zināšanas par aģentiem un aģentu saziņas integrēšanu vienā platformā [66, 67, 73]; otrkārt, vienkāršais veids, kā iemācīties aģentu konstruēšanu *JADE*, un treškārt, aģentu komunikācijas vizualizācijas iespējas.

2.4. Nodaļas apkopojums un secinājumi

Nodaļā tika aprakstīti mākslīgā intelekta aģenti un daudzāģentu sistēmas. Nodaļas sākumā ir apskatītas aģenta definīcijas un īpašības. Tika sniegtas divu autoru aģentu arhitektūras klasifikācijas un promocijas darba ietvaros tika izvēlēta heterogēna aģentu sistēma un uz modeli un mērķi balstīti aģenti.

Aģentu mijiedarbības iespējas daudzāģentu sistēmās ir paskaidrotas nodaļas vidū. Daudzāģentu sistēmas aģentiem var būt nepieciešams mijiedarboties savā starpā, un šie mijiedarbības veidi ir dažādi.

Nodaļā tika analizētas tāfeles (*blackboard*) sistēma un ontoloģija, kā arī to lietošanas priekšrocības. Detalizēti aprakstīti ontoloģijas izstrādāšanas soļi un ontoloģijas novērtēšanas pieejas, šīs pieejas tika pārbaudītas ar izstrādātām piecām ontoloģijām.

Autore uzskata, ka ontoloģijas lietošana aģentu saziņai ir perspektīvākais sazināšanas veids, un piedāvā ieviest daudzāģentu sistēmā informācijas koplietošanu līdzīgi, kā tāfele ir tāfeles arhitektūrā.

Pārskats par daudzāģentu sistēmu izstrādāšanas platformām un ietvariem ir dots nodaļas beigās un daudzāģentu sistēmas izstrādāšanai tika izvēlēts *JADE*.

Pēc iegūtiem analīzes un pētījumu rezultātiem tika izdarīti galvenie šīs nodaļas secinājumi:

- 1) aģentu saziņu var realizēt divos veidos: tāfeles sistēma vai ontoloģija;
- 2) turpmākajos pētījumos tiks analizēti un lietoti aģenti ar apmācības iespējām.

Autore piedāvā izmantot ontoloģiju aģentu saziņai starp piegādes ķēdes mezgliem un ieviest informācijas koplietošanu viena mezgla aģentiem priekš sākotnējiem datiem, daļējiem un gala rezultātiem, kā tas ir tāfeles arhitektūrā.

Nākamais uzdevums pieejas izstrādāšanā ir daudzāģentu sistēmas arhitektūras izveidošana, kas ir piemērota katram piegādes ķēdes mezglam, nodrošinot piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanu.

3. DAUDZAĢENTU SISTĒMAS IZSTRĀDĀŠANA PIEGĀDES ĶĒDES VADĪBAS EFEKTIVITĀTES PAAUGSTINĀŠANAI

Nodaļā aprakstīti daudzāģentu sistēmas izstrādāšanas posmi piegādes ķēdes vadībai *JADE* ietvarā. Nodaļas sākumā aprakstīta izstrādātā pieeja daudzāģentu sistēmas izveidošanai. Daudzāģentu sistēmas izstrādāšana pēc šīs pieejas sākas ar konceptuālu daudzāģentu sistēmas aprakstu un āģentu skaita noteikšanu. Talāk tiek aprakstīta daudzāģentu sistēmas arhitektūra – definēti āģentu uzvedības un sazināšanās līdzekļi starpmezglu saziņai, kā arī informācijas koplietošanas iespējas izstrādāšana viena mezgla āģentiem. Saskarnes izstrādāšana daudzāģentu sistēmai parādīta šīs nodaļas beigās. Nodaļas noslēgumā ir aprakstīta *JADE* ietvarā izstrādātā daudzāģentu sistēma un izstrādātās sistēmas ierobežojumi.

3.1. Pieejas izstrādāšana daudzāģentu sistēmas izveidošanai

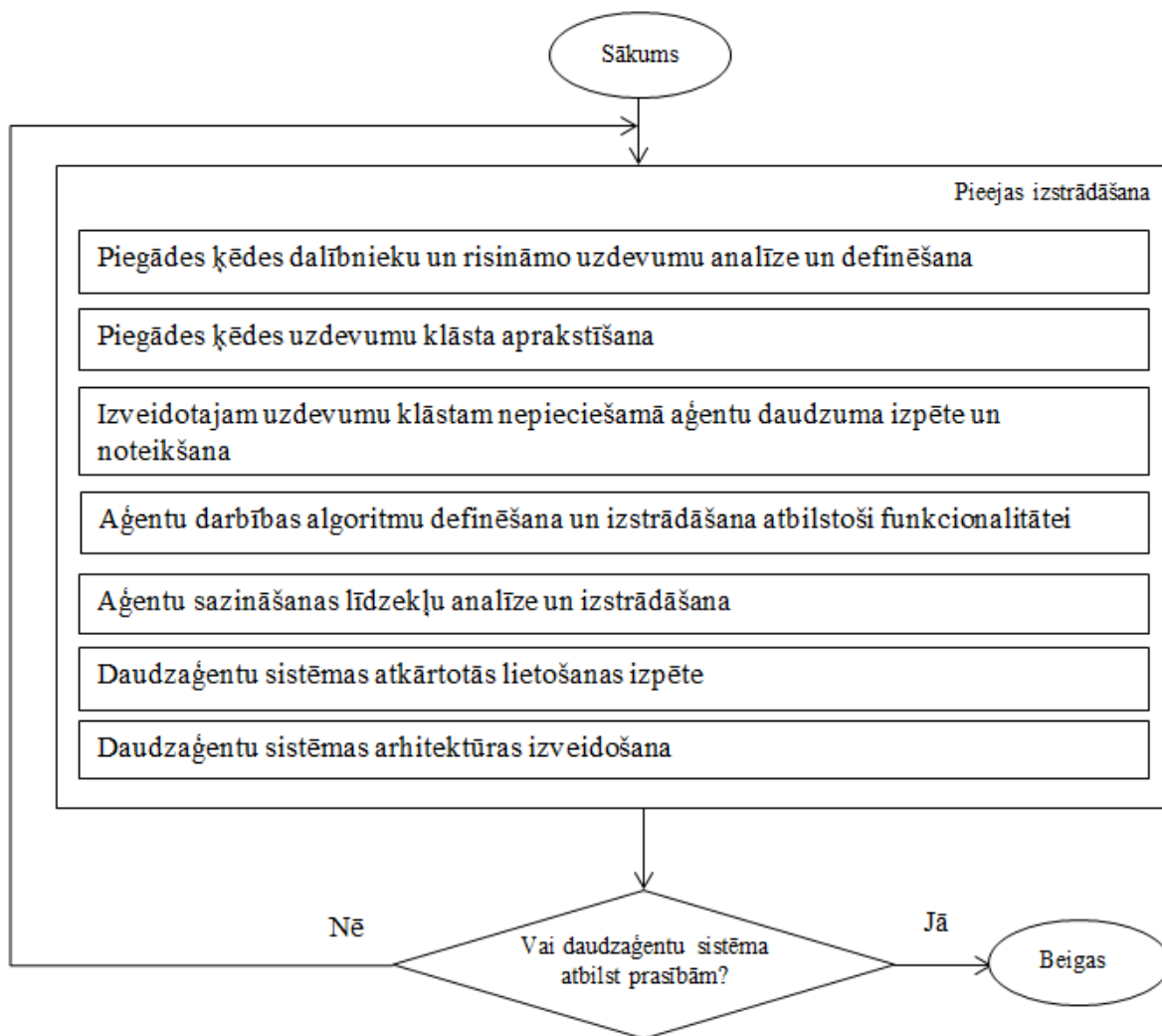
Pieejas izstrādāšana (3.1. att.) nodrošina daudzāģentu sistēmas izveidošanu piegādes ķēdes vadībai tā, lai to varētu lietot dažādi piegādes ķēdes dalībnieki un lai tā nodrošinātu piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanu. Pieejas izstrādāšanai tika veiktas šādas darbības:

- 1) analizēti un definēti piegādes ķēdes dalībniekus un risināmos uzdevumus;
- 2) aprakstīts piegādes ķēdes uzdevumu klāstu;
- 3) izveidotajam uzdevumu klāstam izpētīts un noteikts nepieciešamo āģentu daudzums, (3.1.2. punkts);
- 4) definēti un izstrādāti āģentu darbības algoritmi atbilstoši funkcionalitātei (3.2.-3.5. apakšnodaļa);
- 5) analizēti un izstrādāti āģentu sazināšanās līdzekļi (2.2. apakšnodaļa);
- 6) izpētīta un izstrādāta daudzāģentu sistēmas atkārtota lietošana (3.7. apakšnodaļa);
- 7) izveidota daudzāģentu sistēmas arhitektūra (3.8. apakšnodaļa).

Atbilstoši izstrādātajai pieejai tika izveidota daudzāģentu sistēma, kas aptver definētas prasības, un tā tika novērtēta pēc iepriekš definētiem efektivitātes rādītājiem (1.7. tab.).

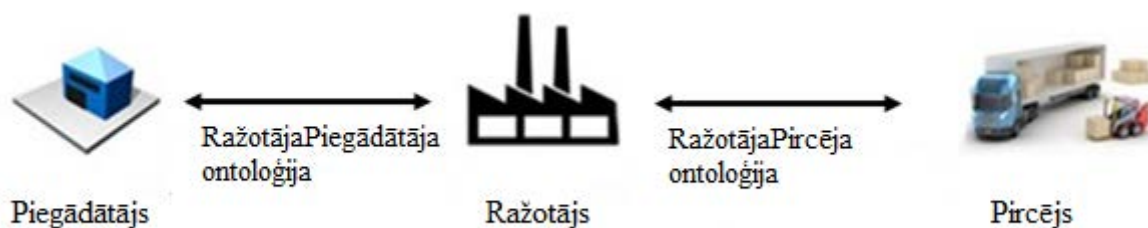
3.1.1. Izstrādātās daudzāģentu sistēmas konceptuālais modelis

Pēc izstrādātās pieejas tika izveidota daudzāģentu sistēma, ko varēs izmantot visi piegādes ķēdes dalībnieki, taču darbā sistēmas darbība detalizēti demonstrēta ražotāja mezglā, jo tajā ir iekļauti ražošanas procesi. Izstrādātajiem āģentiem jābūt dinamiskiem, lai strādātu ar dinamiskiem datiem, autonomiem un proaktīviem – nepārtrauktai situācijas analīzei, negaidot lietotāja iejaukšanos, mērķtiecīgiem – āģentu uzvedība ir orientēta uz mērķa sasniegšanu, intelektuāliem – mērķu sasniegšanai, pamatojoties uz aprēķiniem.



3.1. att. Daudzāģentu sistēmas izstrādāšanas pieeja.

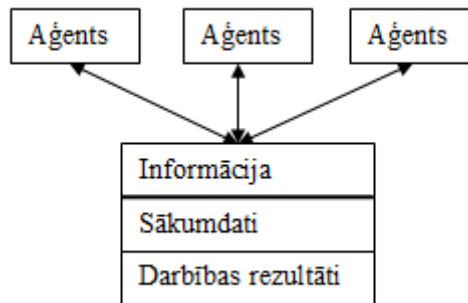
Komunikācija starp piegādes ķēdes mezgliem tiek nodrošināta ar divām izstrādātajām ontoloģijām (3.2. att.).



3.2. att. Starpmezglu mijiedarbība ar ontoloģiju palīdzību.

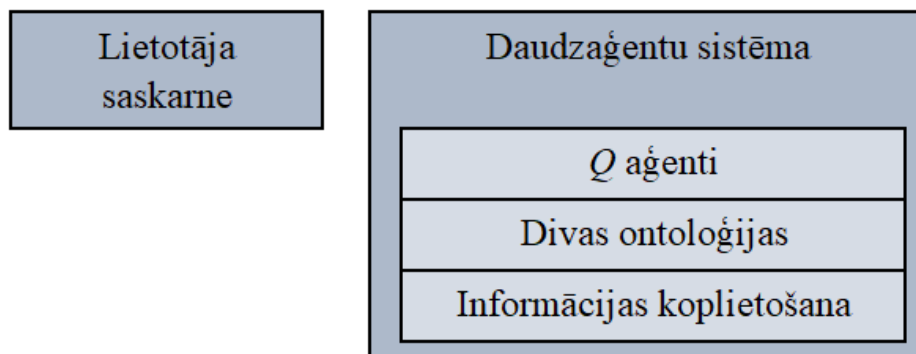
Saziņa starp aģentiem vienā mezglā promocijas darbā apskatīta, par piemēru ņemot ražotāja mezglu, un tiek realizēta, koplietojot informāciju, līdzīgi kā tas tika aprakstīts tāfeles sistēmā (sk. 2.2.1. punktu). Izstrādātajā daudzāģentu sistēmā tiks izmantota uz tāfeles

principiem balstīta sistēma: ir piedāvāts aģentiem vienā mezglā izmantot koplietojamu sākotnējo informāciju, daļējos un galīgos rezultātus (3.3. att.), šādi samazinot saziņas vajadzību.



3.3. att. Informācijas koplietošana starp viena mezgla aģentiem.

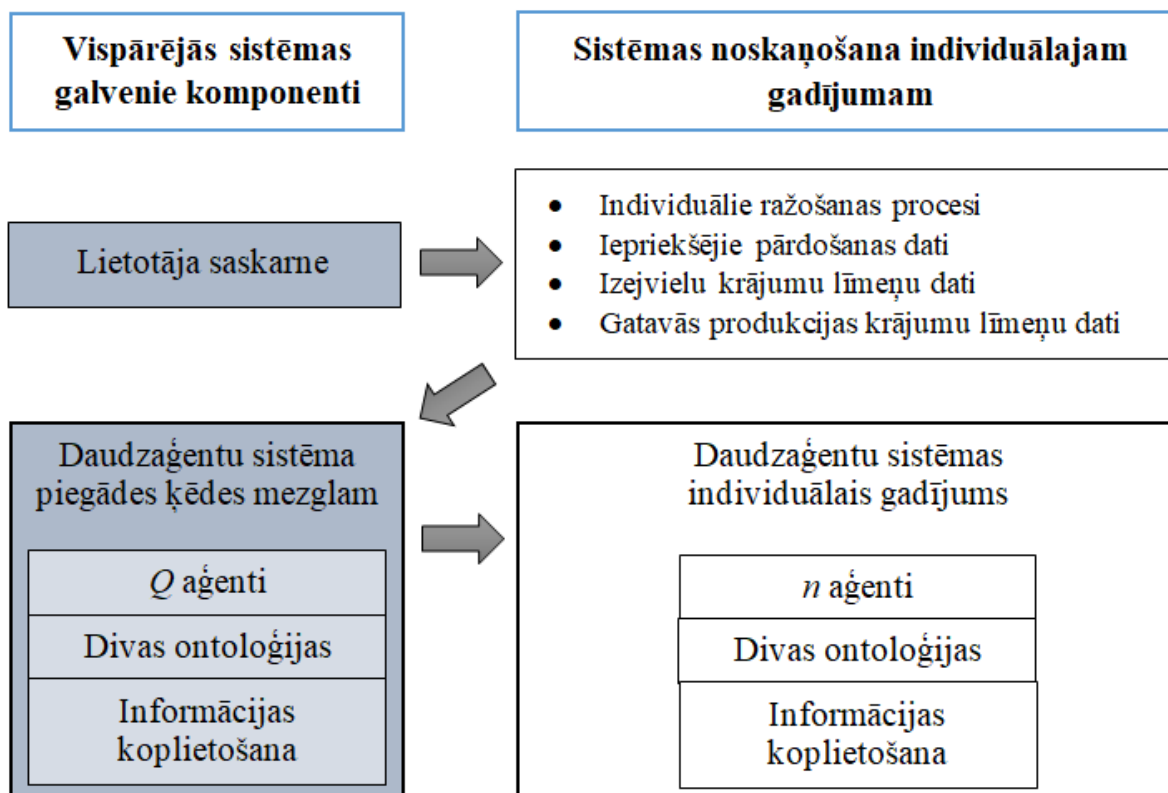
Lietotāja saskarnes izstrādāšana (sk. 3.7. apakšnodaļu), kas apraksta ražošanas procesus daudzāģentu sistēmai, un izstrādātās aģentu uzvedības, kas nav atkarīgas no katra individuālā gadījuma datiem, nodrošina izveidotās daudzāģentu sistēmas atkārtotu izmantošanu. Daudzāģentu sistēmu var atkārtoti izmantot citi piegādes ķēdes dalībnieki, ir parādīta 3.4. att. un tā satur šādus elementus: lietotāja saskarne individuālam ražošanas procesa aprakstam, n aģenti, kuru skaits tiks apspriests tālāk tekstā, divas ontoloģijas saziņai starp mezglēm un informācijas koplietošanas realizācija.



3.4. att. Izstrādājamās daudzāģentu sistēmas galvenie komponenti

Ražošanas procesu aprakstīšana lietotāju saskarnē un datu pievienošana, kas ir nepieciešamas aģentu darbībām, izveido individuālu daudzāģentu sistēmas realizāciju (3.5. att.).

Daudzāģentu sistēmas izstrādāšanai tiek piedāvāts izmantot *Java*, *JADE* ietvaru, ontoloģijas redaktoru *Protégé* un tā spraudni *Ontology Bean Generator*, lai izveidotu domēna ontoloģiju un pārveidotu to *JADE* klasēs, kā arī *MySQL* datu bāzes atbalstam, *Apache Ant* programmas koda kompilēšanai un *NetBeans IDE* kā integrētu izstrādes vidi [102].



3.5. att. Daudzaģentu sistēmas jaunā gadījuma izstrādāšanas apraksts.

Ņemot vērā piedāvāto daudzāģentu sistēmas izstrādāšanas pieeju, vispirms jādefinē aģentu skaits un to uzvedības.

3.1.2. Aģentu daudzuma noteikšana

Aģentu daudzums ietekmē visas sistēmas efektivitāti; lielāks aģentu skaits, no vienas puses, ietaupa laiku, izmantojot sinhronizētu sniegumu, bet no otras puses nepieciešams papildu laiks saziņai. Tomēr lielāks aģentu skaits veicina sistēmas arhitektūras vispārīgumu, kas nozīmē, ka sistēmu var viegli pārkonfigurēt konkrēta uzņēmuma vajadzībām [37].

Piegādes ķēdes funkciju sadalījums aģentu kopā padara sistēmu decentralizētu; tādējādi visas sistēmas darbību nosaka katra aģenta individuālā uzvedība [62].

Aģents tiek izmantots, lai sistēmā parādītu atsevišķu entītijū. Sistēma var būt finanšu tirgus vai piegādes ķēde. Sistēmā aģentu regulē uzvedības noteikumi, kas parasti ir vienkārši, bet precīzi definēti [100].

Aģentu noteikumi ir loģika, kas regulē aģenta uzvedību un ietver loģisko operatoru kopu un "ja ... tad" paziņojumus. Aģenta uzvedība ir modeļatkarīga un tā ir atkarīga no noteikumu kopuma, kas aģentam nosaka, kā rīkoties noteiktos apstākļos. Aģentu realizācijā noteikumi un uzvedības ir funkciju formā: kā aģenti mijiedarbojas vai ir saistīti viens ar otru, kādas sekas var radīt noteiktas aģenta darbības; kā rezultāti ietekmē aģentu uzvedību. Ideālajā gadījumā aģentiem vajadzētu būt tādām pašām darbībām, kādas ir attiecīgajām vienībām reālajā pasaulē [100].

Piegādes ķēdes funkcijas ir jāsadala starp aģentiem tādā veidā, kādā tās pastāv dabā; katram aģentam jābūt pārkonfigurējamam bez visas sistēmas pārveidošanas. Aģentam vispārējā veidā jāatspoguļo viena no piegādes ķēdes funkcijām, piemēram, iegāde, ražošana vai pārdošana. Šie trīs aģenti var pārstāvēt ražotāja mezglu, taču promocijas darbā tiek piedāvāts uzlabot piegādes ķēdes veiktspējas rādītājus, tāpēc izstrādātajā daudzāģentu sistēmā jāiekļauj arī krājumu vadība.

Piegādes ķēdes vadības funkcijas ir sadalītas četros aģentos, kas apkopoti 3.1. tabulā. Šīs funkcijas pastāv katrā piegādes ķēdes mezglā, tāpēc katru mezglu var attēlot ar līdzīgiem aģentiem. Ražošanas funkcija var būt arī citiem mezgliem, ne tikai Ražošanas mezglam, piemēram, komplekta izveidošana no iegādātiem galdiem un krēsliem Izplatītāja mezglā.

3.1. tabula

Piegādes ķēdes funkciju sadalīšana aģentos

#	Piegādes ķēdes funkcijas	Aģenta nosaukums
1	Iegāde	Iepirkuma aģents
2	Ražošana	Ražošanas aģents
3	Pārdošana	Pārdošanas aģents
4	Krājumu vadība	Krājumu vadības aģents

Saskaņā ar 3.1. tabulu tiek piedāvāts izstrādāt četrus aģentus, kas aptver ražotāja visas piegādes ķēdes vadības funkcijas:

1. Iepirkuma aģents ir atbildīgs par piegādātāju izvēli un saziņu ar tiem;
2. Ražošanas aģents nodarbojas ar ražošanas plānošanu un pārplānošanu;
3. Krājumu vadības aģents nodarbojas ar pieprasījuma prognozēšanu, krājumu vadību un papildināšanu;
4. Pārdošanas aģents ir atbildīgs par klientu pasūtījumu saņemšanu un saziņu ar klientiem.

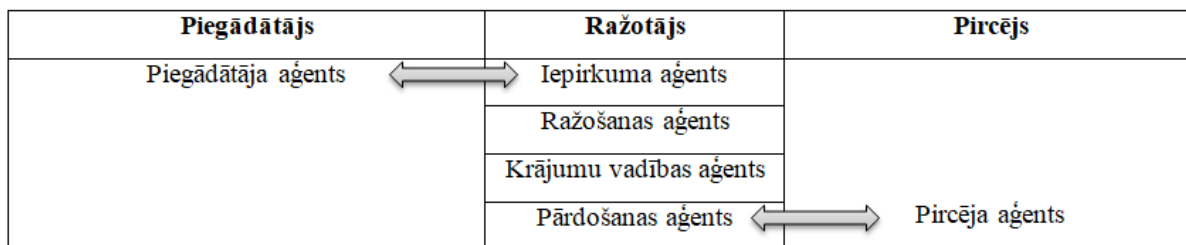
Lai promocijas darbā ietvertu saziņas funkciju starp piegādes ķēdes mezgliem, tiek piedāvāts izveidot vēl divus piegādātāju un izplatītāju/klientu uzņēmumu aģentus – Piegādātāja aģentu un Pircēja aģentu, skat. 3.6. att.

Piegādātājs	Ražotājs	Pircējs
Iepirkuma aģents	Iepirkuma aģents	Pircēja aģents <- Iepirkuma aģents
Ražošanas aģents	Ražošanas aģents	Ražošanas aģents
Krājumu vadības aģents	Krājumu vadības aģents	Krājumu vadības aģents
Pārdošanas aģents -> Piegādātāja aģents	Pārdošanas aģents	Pārdošanas aģents

3.6. att. Daudzāģentu sistēmas izstrādāšanas sākumposms.

Šo divu aģentu mērķi un uzvedības ir attiecīgi līdzīgi ražotāja Pārdošanas aģentam un Iepirkuma aģentam, kur ar bultiņām demonstrēta saziņa starp mezgliem.

Izstrādātā daudzāģentu sistēma sastāv no sešiem aģentiem: Iepirkuma aģenta, Ražošanas aģenta, Krājumu vadības aģenta, Pārdošanas aģenta, Piegādātāja aģenta un Pircēja aģenta, skat. 3.7. att., kur ar bultiņām demonstrēta saziņa starp mezgliem.



3.7. att. Izstrādātās daudzāģentu sistēmas aģenti.

Izstrādāto aģentu uzvedības tiks detalizēti aprakstītas šīs nodaļas turpmākajās sadaļās. Savukārt izveidotās sistēmas integrācijas prasības aprakstītas 3.8.1. punktā.

3.2. Pārdošanas aģenta izstrādāšana

Tiek pieņemts, ka Pārdošanas aģentam nav informācijas par pircēju pieprasījumu nākotnē vai pastāv ierobežota informācija par pircēju pieprasījumu, lai gan informācijas apmaiņa par pieprasījumu var sniegt labumu visiem piegādes ķēdes dalībniekiem.

3.2.1. Pārdošanas aģenta mērķis un uzdevums

Pārdošanas aģenta mērķis ir nodrošināt augstu pakalpojumu līmeni (klientu apmierinātību) un nekavējoties nosūtīt preces.

Pārdošanas aģenta uzdevums ir saņemt pasūtījumus no pircējiem un nekavējoties nosūtīt pasūtīto(-ās) precī(-es) ar augstu apkalpošanas līmeni. Piegādes ķēdē pastāv preces atgriešanas mehānisms, ja pircēja pirktajai precei ir defekts vai viņš nav apmierināts ar iegādāto precī. Pārdevēja aģents nodrošina preces atgriešanas procesu ražotājam.

Saziņa starp Pārdošanas aģentu un Pircēja aģentu tiek realizēta, izmantojot *RažotājaPircēja* ontoloģiju, kas tiks aprakstīta vēlāk (sk. 3.6.2. apakšnodaļu).

3.2.2. Pārdošanas aģenta uzvedības apraksts

Katrs daudzāģentu sistēmas izstrādātājs nosaka aģenta uzvedību atbilstoši izstrādātās sistēmas mērķiem, piemēram:

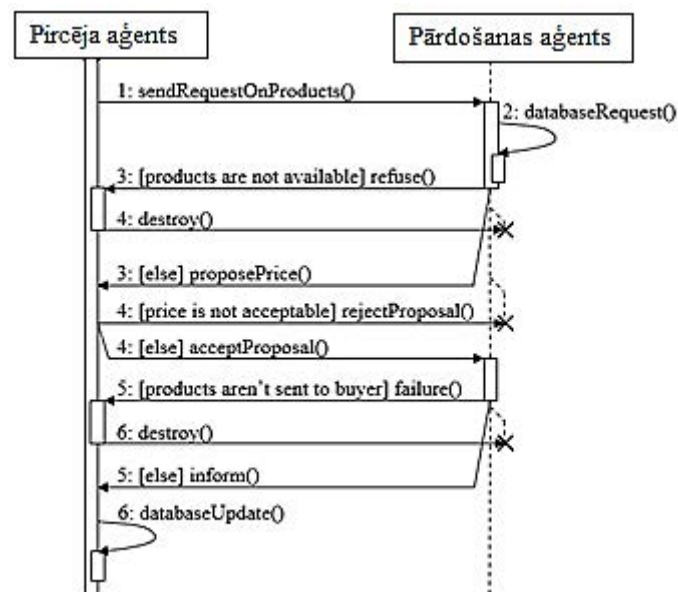
1. Aģents ir atbildīgs par pasūtījumu pieņemšanu no pircējiem, mijiedarbojas ar pircējiem par cenu un piegādes laiku;
2. Aģents ir atbildīgs par pircēju pasūtījumu izpildīšanu un nosaka produkcijas cenu atbilstoši pieprasījumam un varbūtībai iegūt pasūtījumu;

3. Aģents nodarbojas ar produkcijas pārdošanu pircējiem. Katram pasūtījumam aģents izlemj, kādu cenu piedāvāt pircējam. Tas prognozē augstāko cenu, kādu var piedāvāt pircējam un tomēr iegūt pasūtījumu.

Izstrādātājā daudzāģentu sistēmā ir piedāvāta šāda Pārdošanas aģenta uzvedība: aģents ir atbildīgs **par pasūtījumu pieņemšanu no pircējiem**, mijiedarbojas ar pircējiem par piegādes laiku. Produkcijas cena ir noteikta, aģents to nevar mainīt.

Pārdošanas aģents neizlemj, par kādu cenu pārdot preci, tas pieņem pasūtījumus no Pircēja aģenta un rūpējas par pasūtīto preču nosūtīšanu pircējam.

Saziņa starp Pārdošanas aģentu un Pircēja aģentu tiek realizēta, izmantojot *RažotājaPircēja* ontoloģiju. Šiem aģentiem ir kopēja izpratne par informāciju, par kuru tie runā. Divu aģentu mijiedarbība ir parādīta *UML* diagrammā 3.8. att.



3.8. att. Pārdošanas un Pircēja aģentu mijiedarbības *UML* diagrama.

Sākumā Pārdošanas aģents ir dīkstāvē; tas tiek aktivizēts, kad no Pircēja aģenta tiek saņemts jauns pasūtījums. Pārdošanas aģenta uzvedības noteikumi ir šādi:

- ja pasūtītais daudzums ir pieejams noliktavā, rezervēt to un piedāvāt Pircēja aģentam cenu un piegādes laiku;
- ja Pircēja aģents pieņem cenu un piegādes laiku, tad sākt pārdošanas procedūru;
- ja Pircēja aģents nepieņem cenu un piegādes laiku, tad atcelt pasūtīto produktu rezervāciju un pārtraukt sarunas;
- ja krājumu līmenis ir mazāks par pasūtīto daudzumu, tad piedāvāt Pircēja aģentam gaidīt laiku, kas vienāds ar T (kur $T = T_{ražošanas}$ vai $T = T_{ražošanas} + T_{iepirkuma}$, ja izejvielu daudzums nav pietiekams pasūtītā produkta salikšanai);
- ja Pircēja aģents atsakās gaidīt laiku T , tad pārtraukt sarunas;
- ja Pircēja aģents piekrīt gaidīšanas laikam T , tad turpināt sarunas, līdz Pircēja aģents saņem pasūtīto daudzumu.

Informācijas plūsma starp diviem piegādes ķēdes mezgliem ir līdzīga gan Pārdošanas un Pircēja aģentiem, gan Piegādātāja un Iepirkuma aģentiem; bez zināma nākotnes pieprasījuma vai citas informācijas dalīšanās. Informācijas plūsma ir šāds divvirzienu process:

- Pircēja aģenta preces pieprasījums Pārdošanas aģentam;
- Pārdošanas aģenta priekšlikumi Pircēja aģentam par pieprasīto preci;
- Atteikt Pārdošanas aģentam vai akceptēt piedāvājumu;
- Apstiprinājums par nosūtītu pieprasīto produktu pieņemšanu un apstiprināšanu.

Turpmākajos pētījumos Pārdošanas aģenta papilddarbībai var apskatīt un realizēt izsoles funkcionalitāti [1, 39, 40], kas, iespējams, paaugstinātu aģenta veiktspēju.

3.3. Ražošanas aģenta izstrādāšana

Iekārtu jauda, preču ražošanas procesu secība un to izpildes laiki tiek definēti, aizpildot lietotāja saskarnes laukus, kas tiks aprakstīti 3.7. apakšnodaļā. Promocijas darbā ir pieņemts, ka dažāda veida izstrādājumiem nav nepieciešama aprīkojuma pārkonfigurācija, netiek ņemta vērā arī energoefektivitāte.

3.3.1. Ražošanas aģenta mērķis un uzdevumi

Ražošanas aģenta *mērķis* ir organizēt ražošanas procesu tā, lai samazinātu ražošanas laiku, vienlaikus saglabājot vai paaugstinot produktu kvalitātes līmeni.

Ražošanas efektivitātes uzlabošanu var panākt dažādos veidos, neierobežojot ar šādiem variantiem:

- LEAN ražošana – tās pamatā ir lieku vai nevajadzīgu operāciju izņemšana: jebkāda darbība, kas produktam nepievieno vērtību var tikt izņemta. Liekas darbības var būt pārvaldīšanā, krājumu pārvaldībā, pārvietošanā, gaidīšanā, pārstrādē, pārprodukcijā vai trūkumos;
- Krājumu vadība – tā nodrošina pārprodukcijas samazināšanu līdz minimumam;
- Ražošanas izmaksu samazināšana – ražošanas izmaksās ietilpst izejvielu iepirkuma izmaksas, ražošanas laiks, darbinieku algas, aprīkojuma nolietojums, mārketinga izdevumi, elektrība utt. Šeit ražošanas izmaksu samazinājumu var panākt, samazinot ražošanas laiku un defektu daudzumu [53];
- Samazināts ražošanas laiks – pārdomāta ražošanas plānošana var samazināt ražošanai nepieciešamu laiku;
- Efektīva iekārtu noslodze – tā nozīmē aizkavēšanās un iekārtas dīkstāves stāvokļa novēršanu, izmantojot pārdomātu ražošanas plānošanu.

Ražošanas aģents nodarbojas ar izstrādājumu ražošanu vai montāžu no izejvielām, tas ir, gatavu produktu salikšanu no izejvielām saskaņā ar ražošanas tehnoloģiju un to pārvietošanu uz gatavo preču noliktavu. Tam nav zināšanu par turpmāko gatavās produkcijas pārdošanu, kā arī nav prognozes par nākamo pasūtījumu.

Galvenie Ražošanas aģenta *uzdevumi* ir ražošanas plānošana un ražošanas procesu uzlabošana. Ražošanas procesu uzlabošana savukārt ietver šādus apakšuzdevumus: efektīva

iekārtu noslodze, ražošanas laika samazināšana, produktu nepārtrauktas plūsmas organizēšana ražošanas/montāžas iecirknī.

Ražošanas optimizēšanas pamatā ir ar ražošanu nesaistīto izmaksu samazināšana (produktu pārprodukcija, dīkstāve, transportēšana, krājumi, pārvietošana, operāciju izlaišana ražošanas procesā, noraidījumi), kā arī procesa plūsmas nepārtrauktības un patērētāju pieprasījuma uzskaites koncepciju praktiska ieviešana.

Ražošanas optimizēšanu nosaka pieci faktori: izdevumi, kvalitāte, gatavo produktu piegāde, drošība, darbinieku personīgā attieksme.

Ir divas ražošanas optimizēšanas metodoloģijas: LEAN ražošana un ražošanas pilnīgas optimizācijas programma. Ražošanas procesu optimizēšanai ir divi mērķi: ražošanas efektivitātes uzlabošana un izmaksu samazināšana. Tas tiek panākts, ieviešot modernākas tehnoloģijas un uzlabojot darba organizāciju.

3.3.2. Ražošanas aģenta darbības algoritms

Katrs daudzāģentu sistēmas izstrādātājs nosaka aģenta uzvedību atbilstoši izstrādātās sistēmas mērķiem, piemēram:

1. Aģents ir atbildīgs par plānošanu un pārplānošanu ražošanā, optimizējot tādas kritērijas kā produkcijas nepabeigtās ražošanas un nokavēšanas minimizēšana;
2. Aģents nodrošina ražošanas optimizēšanu;
3. Aģents ir atbildīgs par tekošo ražošanu un ražošanu uz nākamajām 12 dienām, mēģinot maksimizēt ražošanas jaudu.

Izstrādātajā daudzāģentu sistēmā ir piedāvāta šāda Ražošanas aģenta uzvedība: aģents ir atbildīgs par plānošanu un pārplānošanu ražošanā, ir atbildīgs par esošajiem ražošanas pasūtījumiem, **plāno jaunu pasūtījumu izpildi ražošanā un pārplāno ražošanas secību**, ja tas ir iespējams ražošanas laika samazināšanai.

Ražošanas aģenta darbības algoritms ir šāds:

1. n esošajiem izstrādājumiem iespējamie dažādie varianti ir $n!$. Ja ir nepieciešams saražot piecu tipu izstrādājumus, tad $n! = 5!$;
2. jāpārbauda kopējais ražošanas laiks katram $n!$ variantam; pārdomātai ražošanas secībai ir vismazākais kopējais ražošanas laiks;
3. ja kopējais ražošanas laiks pārsniedz noteikto termiņu, tiek izmantots ražošanas procesa prioritātes līmenis, kas balstās uz ABC analīzes rezultātiem: augstākā prioritāte ir A klases produktiem, tad B klases produktiem, viszemākā prioritāte ir C klases produktiem. Ja produkti pieder vienai klasei, tad ražošanas procesa prioritāte tiek piešķirta produktam, kura ražošanas laiks ir īsāks.

Šis darbības algoritms nodrošina efektīvu iekārtu noslodzi un samazina kopējo ražošanas laiku, šādi samazinot ražošanas izmaksas un novēršot lieku gaidīšanas laiku.

3.3.3. Ražošanas aģenta ražošanas plānošanas algoritms

Ražošanas plānošanas algoritmu var parādīt ar šādu piemēru, kur divi dažādi produktu tipi izmanto vienas un tās pašas iekārtas, bet to ražošanas tehnoloģiskā secība ir atšķirīga

(3.2. tab.). Laiks zem katras iekārtas nozīmē ražošanas laiku stundās 1000 vienībām, kopējais laiks ir visu iekārtu ražošanas laiku summa.

3.2. tabula

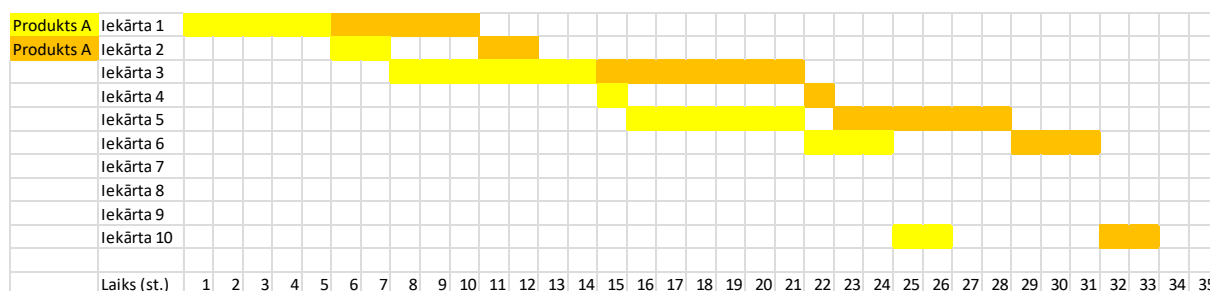
Ražošanas tehnoloģiskā secība

Produkcijas ražošanas tehnoloģiskā secība								
tips	Kop. laiks	iekārta 1	iekārta 2	iekārta 3	iekārta 4	iekārta 5	iekārta 6	iekārta 10
Produkts A	26	5	2	7	1	6	3	2
Produkcijas ražošanas tehnoloģiskā secība								
tips	Kop. laiks	iekārta 1	iekārta 2	iekārta 5	iekārta 6	iekārta 7	iekārta 8	iekārta 10
Produkts B	29	5	2	6	3	3	8	2

Ja ražošanā ir tikai viena tipa produkti, pirmajam produktam kopējais ražošanas laiks būs tāds pats kā minēts iepriekš tabulā, bet pārējiem kopējais ražošanas laiks tiks palielināts par stundām, kurās produkts gaida iepriekšēju produktu ražošanu (3.3. tab.).

3.3. tabula

Ražošanas secība vienāda tipa produkcijai



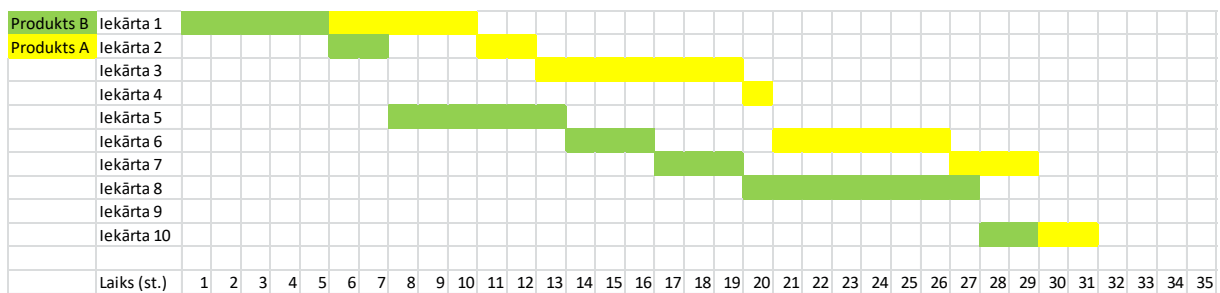
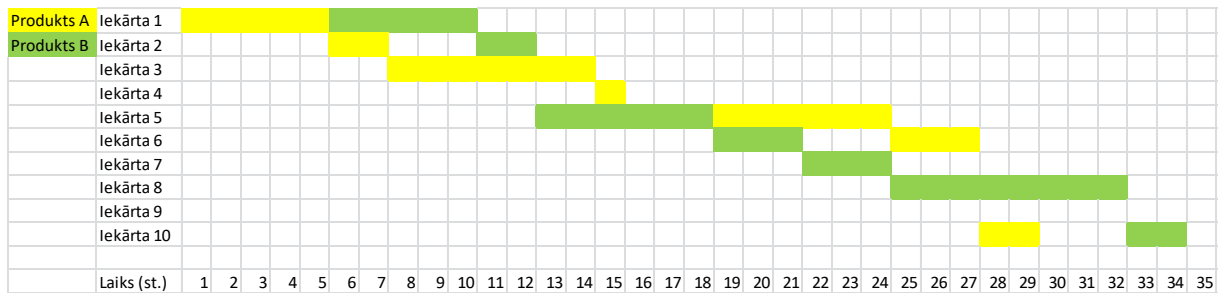
Ja ražošanā ietilpst dažādi produktu veidi, tad dažāda ražošanas secība nozīmē atšķirīgu kopējo ražošanas laiku.

Sākotnēji bija viena produkta tipa (produkts A) ražošanas plānošana, pēc tam tika pievienots otrais produktu tips (produkts B), un ražošanas plānošanā tika pārplānota divu produktu tipu ražošanas secībai.

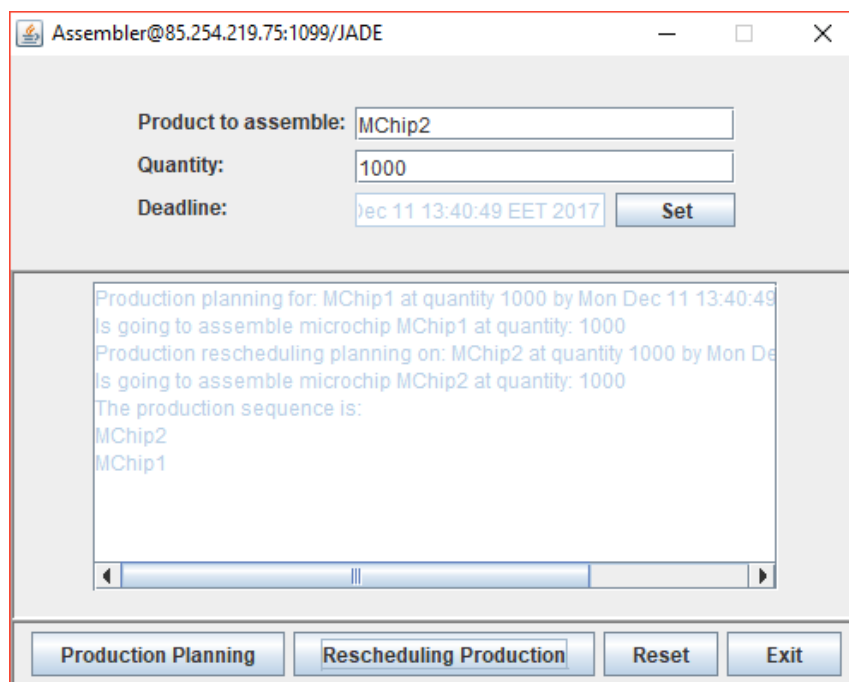
Ražošanas aģenta ražošanas plānošanas un pārplānošanas algoritms darbojas šādi:

1. Visiem produktiem n visi iespējamie dažādie ražošanas secību varianti ir $n!$ Tātad, ir produkts A un produkts B, divi dažādi varianti ir šādi: 1) produkts A, tad produkts B vai otrādi, 2) produkts B, tad produkts A;
2. Pārbaudīt šos $n!$ kopējo ražošanas laikus un izvēlieties minimālo no tiem. Kā redzams 3.4. tabulā pirmajā variantā (produkts A, produkts B), maksimālais ražošanas laiks ir 34 stundas, otrajam variantam (produkts B, produkts A) – 31 stundas. Kopējais ražošanas laiks samazināsies gadījumā, ja ir šāda ražošanas secība: vispirms produkts B tiek nosūtīts ražošanā, pēc tam – produkts A.

Ražošanas secību dažādība



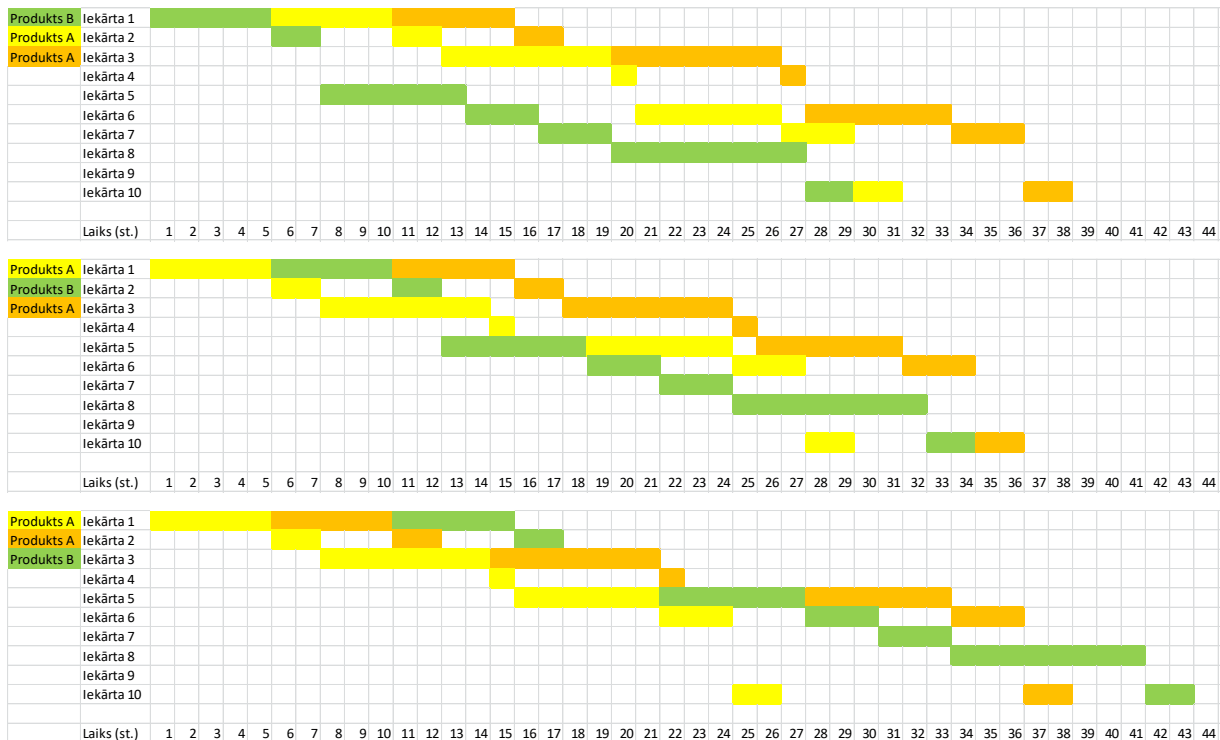
Izstrādātais Ražošanas aģents ietver iepriekš aprakstīto ražošanas plānošanas algoritmu un piedāvā ražošanas secību, kas samazina kopējo ražošanas laiku, sk. 3.9. att.



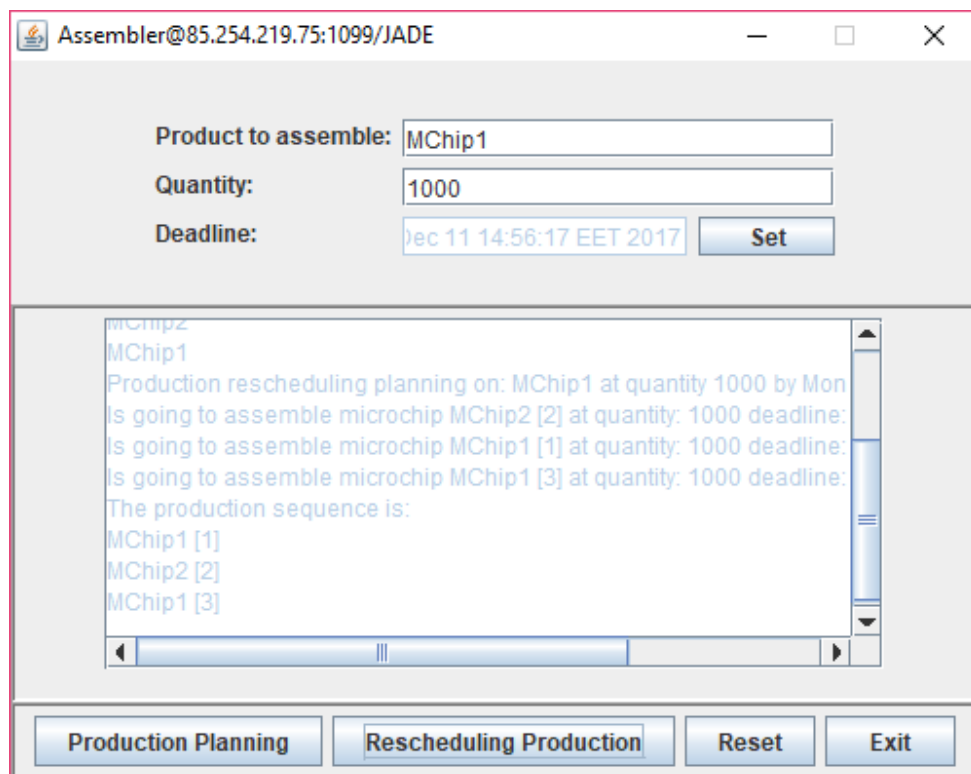
3.9. att. Ražošanas aģenta veiktā ražošanas plānošana divu tipu izstrādājumiem

Jāatzīmē arī, ka trīs vai vairāku produktu ražošanas gadījumā izdevīgākā secība nebūs obligāti iepriekšminētā secība un pēc tās trešā produkta ražošana, jāaprēķina ražošanas secību no jauna, skat. dažādas ražošanas secības 3.5. tabulā.

Dažādas ražošanas secības



Ražošanas aģents iegūst šādu rezultātu: ražojot divus produktus A un vienu produktu B, ražošanas secība ir šāda: produkts A, produkts B un atkal produkts A, sk. 3.10. att.



3.10. att. Ražošanas aģenta piedāvātā ražošanas secība.

Šis ražošanas plānošanas un pārplānošanas algoritms nodrošina efektīvu iekārtu noslodzi un samazina ražošanas kopējo laiku.

3.3.4. Ražošanas pasūtījumu ienākšana dažādos laika momentos

Promocijas darba ietvaros tiek pieņemts, ka izstrādātajā sistēmā tiek atvēlētas t minūtes pēc pasūtījuma iesniegšanas ražošanas secības koriģēšanai; t.i. ja pēc pirmā pasūtījuma iesniegšanas pagājušas t vai vairāk minūtes, tad ražošanas secība būs pirmā ienāca – pirmā iet uz ražošanu. Ja nākamajos ražošanas posmos otrajam pasūtījumam būs iespēja tikt ražošanas iecirknī ātrāk par pirmo pasūtījumu, tad šī ražošanas secība tiks koriģēta. Ja līdz otrajam pasūtījumam ir pagājis mazāk par t minūtēm, tad Ražošanas aģents izrēķina ātrāko ražošanas secību. Šis atvēlētais laiks pasūtījumu iesniegšanai ražošanā var tikt mainīts pēc pieprasījuma.

3.4. Krājumu vadības aģenta izstrādāšana

Tiek pieņemts, ka ražotājam nav informācijas par turpmāko preču pieprasījumu, taču tam ir pieejama informācija par iepriekšējo pieprasījumu. Produkcijas krājumu samazināšanai daudzāģentu sistēmā tiek piedāvāts izmantot krājumu vadības paņēmienus.

3.4.1. Krājumu vadības uzdevums

Raugoties no materiālu pārvaldības viedokļa [58], krājumu definīcija ir šāda – “izmantojams, bet dīkstāvē esošs resurss ar zināmu ekonomisku vērtību”. Lai varētu izpildīt pieprasījumu, jābūt fiziskiem krājumiem, pretējā gadījumā tas izraisīs ražošanas kavēšanos, iztrūkumu un/vai klientu neapmierinātību. Tomēr krājumu uzglabāšana nav bezmaksas, tāpēc paradokss ir tāds, ka ir nepieciešami krājumi, bet tie nav vēlamī. Šī situācija padara krājumu vadību par sarežģītu problēmu piegādes ķēdes vadībā.

Lai apmierinātu klientu pieprasījumu, ir jābūt krājumiem vismaz šo iemeslu dēļ: izpildes laiks starp pasūtījuma noformēšanu un piegādes saņemšanu ir diezgan ilgs, bet tajā pašā laikā ir jāapmierina klientu pieprasījums, ja pastāv pieprasījuma nenoteiktība vai sezonāls pieprasījums utt. Lai samazinātu krājumus un to uzglabāšanas izmaksas, tiek piedāvāta krājumu vadība [58].

Krājumu vadības uzdevumi ir analizēt atlikumus noliktavā, analizēt pārdošanas apjomus pa klientu grupām, pārdošanas apjomus iepriekšējā periodā un sezonālīti pagātnē, kā arī pasūtījumu izvietošana, daudzuma un nosacījumu saskaņošana ar piegādātājiem, preču pārvietošanas ieviešana starp noliktavām un preču plūsmu sadalījums noliktavās. Tas nodrošina savlaicīgu un pietiekamu preču piesātinājumu krājumos, lai izvairītos no situācijām, kad krājumi ir pārāk lieli vai otrādi: nepietiekami [102].

Autores veiktā analīze [58] ļāva secināt, ka krājumu vadība var samazināt krājumu izmaksas un izvairīties no krājumu pārpalikuma; daudzāģentu sistēmas lietošana krājumu vadībai var piedāvāt autonomu vai daļēji autonomu krājumu vadību, un šādas sistēmas tiek izmantotas tiešsaistes piegādātāju krājumu atjaunošanai. Piedāvātajās sistēmās tiek lietoti šādi rīki: prognozēšanas algoritmi, vēsturisko datu analīze, krājumu papildināšanas algoritmi; ar izmantoto metožu mainīšanas iespēju.

Krājumu vadības aģentam ir informācija par izejvielu un gatavo preču daudzumu no datu bāzēm. Tā galvenā funkcija ir pieņemt lēmumus par to, kad un cik daudz izejvielu pirkt un kad un cik daudz produktu saražot. Aģentam ir zināšanas par iespējamo minimālo krājumu līmeni, – t. i., drošības krājumu daudzumu, par ražošanas jaudu, kā arī aģentam ir nākotnes pieprasījuma prognozēšanas algoritms. Krājumu vadības aģents izmanto šādas metodes: ABC analīzes algoritmu, lai noteiktu vadības kontroli, nākotnes pieprasījuma prognozēšanas algoritmus atbilstoši krājumu kontrolei, papildināšanas politiku, lai izvairītos no krājumu nepietiekama daudzuma situācijām, vienlaikus samazinot krājumu līmeni [58, 62].

Citi autori, izstrādājot daudzāģentu sistēmu piedāvāja šādu krājumu vadības aģenta uzvedību aprakstu:

- Dinamiski pārvalda izejvielu pietiekamību ražošanai. Aģents novērtē resursu pieprasījumu un nosaka resursu pasūtījumu daudzumus;
- Aģents ir atbildīgs par lemšanu, kad jānopērk izejvielas, pamatojoties uz esošiem krājumiem un izejvielu pieprasījumu;
- Pārvalda izejvielu un gatavās produkcijas ierašanos un pārsuta to ražošanai vai piegādei pircējiem. Aģents reģistrē izejvielu un gatavās produkcijas pieprasījumu no Ražošanas un Pārdošanas aģentiem un mēģina nepieļaut krājumu daudzumu samazināšanos līdz noteiktajam līmenim, lai apmierinātu šos pieprasījumus.

Piedāvātā Krājumu vadības aģenta uzvedības algoritma apraksts ir šāds: dinamiski pārvalda izejvielu un gatavās produkcijas pietiekamību ražošanai un pārdošanai. Katrai izejvielai un gatavajai produkcijai izskaitļo:

- 1) piederību pie ABC analīzes klases;
- 2) pieprasījumu prognozi;
- 3) drošības krājumus;
- 4) pasūtīšanas punktus.

Pēc katra jauna pieprasījuma notiek **pieprasījuma salīdzināšana** ar prognozēto pieprasījumu. Atbilstoši rezultātam aģents pārrēķina drošības krājumus un pasūtīšanas punktu. Piederība pie ABC analīzes klasēm un pieprasījuma prognoze tiek pārrēķinātas, iekļaujot jaunus pieprasījuma datus.

3.4.2. Krājumu vadības aģenta uzvedības apraksts

Efektīva krājumu vadība ietver sevī pieprasījuma prognozēšanas algoritmus, papildināšanas pasūtījumu noteikšanu un krājumu līmeņa kontroli. Krājumu vadības sistēmām jānodrošina šādi procesi:

1. *ABC analīze;*
2. *Nākotnes pieprasījumu prognozēšanas algoritmi;*
3. *Papildināšanas politika.*

3.4.2.1. ABC analīze

ABC analīze ir pamata piegādes ķēdes vadības paņēmieni, ko bieži izmanto krājumu/izejvielu menedžeri, un tas ir sākuma punkts krājumu kontrolē. ABC analīze ir

kategorizēšanas sistēma, un šīs analīzes rezultātā krājumi tiek klasificēti trijās klasēs, katrai klasei ir atšķirīga vadības kontrole:

- *A klases produkcijai* nepieciešama stingra krājumu kontrole, bieža pieprasījuma prognožu pārskatīšana;
- *B klases produkcijai* ir vajadzīga krājumu kontrole ar neregulāru pieprasījuma prognožu pārskati;
- *C klases produkcijai* nepieciešama minimāla krājumu kontrole.

ABC analīzes pamatā ir Pareto analīze, kurā ir noteikts, ka 20 % produkcijas veido 80 % pārdošanas apjomu (sk. 3.6. tab.).

A klases produkcijai parasti ieteicams izveidot augstāku drošības krājumu līmeni un ieviest nepārtrauktas uzraudzības stratēģiju. B klases produkcijai nepieciešams vidējs drošības krājumu līmenis un periodiska pārskatīšana. C klases produkcijai drošības krājumi netiek veidoti un reti kontrolē krājumu līmeni.

3.6. tabula

ABC analīze

Piederība pie klases	Produkcijas daudzums	Gada pārdošanas ieņēmumi
Klase A	20%	80%
Klase B	30%	15%
Klase C	50%	5%

ABC analīzes piemērā (3.7. tab.) apskatīti 30 produkcijas veidi, ir zināmi to cena un daudzums, kas tika pārdots gada laikā (*Pārdots*). *Saņemtā summa* ir nauda, kas saņemta par katra produkta veida pārdošanu un kopējā summa par visām precēm (*SUM*). *Rangs* ir katra produkta nozīmīgums kopējos produktu ieņēmumos; *PrNoz* – produkta nozīmīgums procentos no kopējiem ieņēmumiem no produkta, savukārt *PrNoz kumul.* – kumulatīvs produkta nozīmīgums procentos no kopējiem ieņēmumiem.

ABC analīzes rezultāts šim piemēram ir šāds (30 produkcijas veidi, 20% = 6 preces):

- A klase – 58% no kopējiem ieņēmumiem ir saņemti par 6 preču pārdošanu;
- B klase – 32% no kopējiem ieņēmumiem ir saņemti par 9 preču pārdošanu; (58%-90%);
- C klase – 10% no kopējiem ieņēmumiem ir saņemti par 15 preču pārdošanu; (90%-100%).

ABC analīzes piemērs

#	Produkcija	Pārdots, gab.	Cena, EUR	Saņemtā summa, EUR	Rangs	PrNoz, %	PrNozku mul, %	ABC analīzes rezultāts
1	Produkts1	150	0.3	45	27	0.10	99.81	C
2	Produkts2	700	0.8	560	19	1.25	94.44	C
3	Produkts3	350	1.5	525	20	1.18	95.61	C
4	Produkts4	160	13	2080	8	4.66	67.90	A
...								
30	Produkts 30	255	9.16	2335.8	7	5.23	63.24	A
SUM		14641		44659.8			100	

3.4.2.2. Prognozēšanas algoritmi

Pieprasījuma prognozēšana šajā kontekstā ir produktu paredzamā pieprasījuma prognozēšana vai novērtēšana noteiktā nākotnes laika posmā. Pastāv plašs prognozēšanas algoritmu klāsts, un tos visus var analizēt nākotnē. Promocijas darbā apskatītas un izstrādātajā daudzāģentu sistēmā tika iekļautas šādas prognozēšanas metodes (sk. 3.11. att.): vidējā metode, naivā metode, svērtais slīdošais vidējais un eksponenciālā izlīdzināšana.

Vidējā metode – nākotnes vērtības prognoze ir vienāda ar vēsturisko datu vidējo vērtību. Ja vēsturiskos datus apzīmēt ar $y_1 \dots y_T$, tad ar laiku prognozi aprēķina pēc formulas (3.2):

$$\hat{y}_{T+h|T} = \bar{y} = (y_1 + \dots + y_T)/T, \quad (3.1)$$

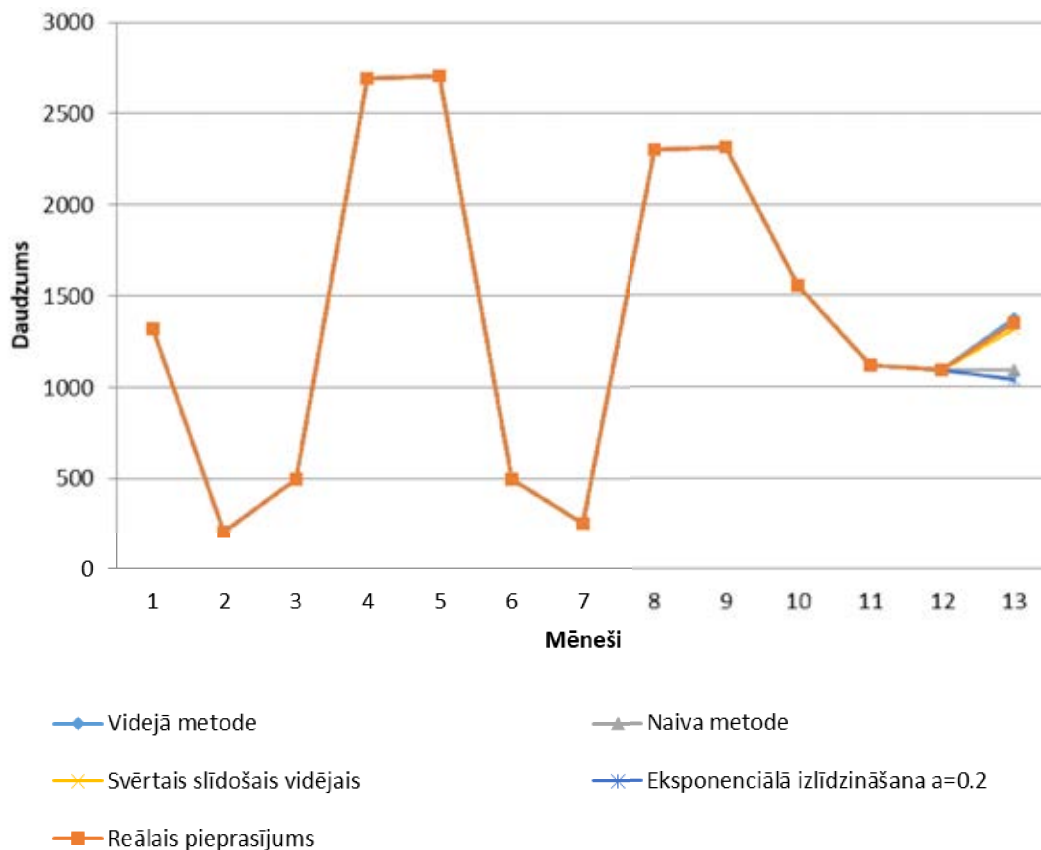
Naivā metode – par nākotnes vērtības prognozēto vērtību tiek izmantota pēdējā novērojuma vērtība. Tas ir, visu nākotnes vērtību prognozes ir iestatītas kā y_T , kur y_T ir pēdējā novērotā vērtība;

Svērtais slīdošais vidējais – svērtie slīdošie vidējie lielumi pašreizējiem datu punktiem piešķir lielāku svaru, jo tie ir atbilstošāki nekā tālākas pagātnes datu punkti. Svaru summai vajadzētu būt līdz 1 (vai 100 procentiem);

Eksponenciālā izlīdzināšana – metode ir piemērota tādu laikrindu prognozēšanai, kurām nav tendenču vai sezonālu tendenču. Arī vienkāršas eksponenciālās izlīdzināšanas pamatā ir pieņēmums, ka novērojuma svars ir atkarīgs no tā tuvuma laikā tagadnei. Prognozes aprēķina (3.2), izmantojot vidējos svērtos rādītājus, kur svars samazinās eksponenciāli, novērojumiem esot no tālākās pagātnes – mazākie svāri ir saistīti ar vecākajiem novērojumiem:

$$\hat{y}_{T+1|T} = \alpha y_T + \alpha(1 - \alpha)y_{T-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 y_{T-2} + \dots, \quad (3.2)$$

kur α – izlīdzināšanas parametrs ($0 < \alpha < 1$).



3.11. att. Prognozēšanas metožu rezultāti vienam mēnesim.

Prognoze par vienu soli uz priekšu $T + 1$ ir visu novērojumu sērijas y_1, \dots, y_T vidējā svērtā vērtība. Ātrumu, ar kādu svars samazinās, kontrolē ar parametru α . Ja α ir no 0 līdz 1, novērojumiem piešķirtais svars eksponenciāli samazinās, virzoties tālāk senākā laikā, tāpēc to sauc par “eksponenciālu izlīdzināšanu”. Ja α ir mazs (t.i., tuvu 0), novērojumiem no tālākas pagātnes tiek piešķirta lielāka nozīme. Ja α ir liels (t.i., tuvu 1), jaunākiem novērojumiem tiek piešķirta lielāka nozīme. Ārkārtējā gadījumā, kur $\alpha = 1$, $\hat{y}_{T+1|T} = y_T$ un prognozes ir vienādas ar naivām prognozēm.

3.4.2.3. Prognozēšanas precizitātes noteikšana

Pēc prognozēšanas algoritmu izmantošana ir nepieciešams noteikt prognozēšanas kļūdu. Apzīmēsim i -to novērojumu ar y_i un ar \hat{y}_i apzīmēsim y_i prognozes rezultātu:

1. *Mērogatkarīga kļūda.* Prognozēšanas kļūda $e_i = f_i - y_i$, kas ir tādā pašā mērogā kā dati. Tādējādi precizitātes mērījumi, kas balstīti uz e_i , ir atkarīgi no mēroga, un tos nevar izmantot, lai salīdzinātu dažādas sērijas. Divas visbiežāk izmantotās mērogatkarīgās metrikas ir balstītas uz absolūtām kļūdām vai kvadrātkļūdām, un tās ir

vidējā absolūtā kļūda (MAE), ko aprēķina pēc formulas (3.3) un saknes vidējā absolūtā kļūda (RMSE), ko aprēķina pēc formulas (3.4).

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n |f_i - y_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i|, \quad (3.3)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (f_i - y_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i)^2}. \quad (3.4)$$

2. *Procentuālās kļūdas.* Procentuālajām kļūdām ir priekšrocība, ka tās nav atkarīgas no mēroga, un tāpēc tās bieži izmanto, lai salīdzinātu prognožu veikspēju starp dažādām datu kopām (3.5). Visbiežāk izmantotais mērs ir vidējā absolūtā procentuālā kļūda (MAPE):

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left| \frac{y_i - f_i}{y_i} \right|. \quad (3.5)$$

Pēc prognozēšanas algoritmu darbībām tiek novērtētas prognozēšanas kļūdas. Atkāribā no saņemtiem rezultātiem tiek izmantota prognozēšanas metode nākamai prognozei. Katru reizi produkcijai tiek izmantota precizākā no piedāvatajām prognozēšanas metodēm.

Ja trūkst A klases produktu pārdošanas apjomu datu un pārdoto produktu daudzums svārstās, tad ieteicams turēt drošības krājumus un ražot pēc pasūtījuma, ja ražošanas izpildes laiks ir piemērots pieprasījuma apmierināšanai. B klases precēm nepieciešams vidējs drošības krājumu līmenis un periodiska pārskatīšana. Pēc prognozes iegūšanas, pamatojoties uz šīm pieprasījuma prognozēm, var iegūt krājumu daudzumu.

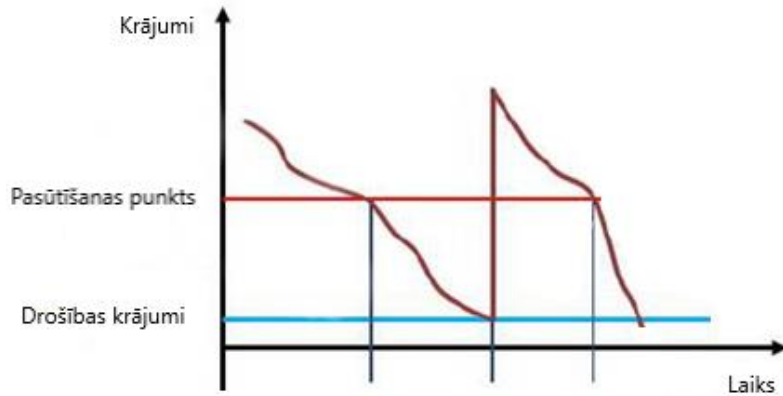
Daudzaģentu sistēmā Krājumu vadības aģents (laikā T) prognozē pieprasījumu, izmantojot iepriekšējo periodu pārdošanas apjomu datus ($T-2$, $T-3$, ...), un tad nosaka precīzāko algoritmu, izmantojot pēdējo saņemto pieprasījumu ($T-1$). Šis algoritms tiek izvēlēts kā prognozēšanas algoritms nākamajam mēnesim.

Krājumu politika ir darbību sistēma krājumu līmeņa ieviešanai. Krājumu modelis ir atkarīgs no izvēlētajās krājumu politikas izvēles; parasti tiek izmantotas trīs krājumu pārvaldības politikas: Ekonomiskā pasūtījuma daudzums – Atkārtotā pasūtīšanas punkta politika, Periodiskās pārskatīšanas krājumu politika un Izvēles papildināšanas politika.

Ekonomiskā pasūtījuma daudzums – atkārtotā pasūtīšanas punkta politika. Saskaņā ar šo politiku krājumu līmeņi tiek pastāvīgi uzraudzīti. Šim krājumu modelim ir divi mainīgie: pasūtīšanas punkts R un ekonomiskā pasūtījuma daudzums EOQ . Kad krājumu līmenis nokrītas līdz iepriekš noteiktajam līmenim R , tiek veikts fiksētā daudzuma EOQ papildināšanas pasūtījums (sk. 3.12. att.). Daudzumu EOQ aprēķina pēc formulas (3.6):

$$EOQ = \sqrt{\frac{2C_1D}{C_2}}, \quad (3.6)$$

- kur C_1 – viena pasūtījuma piegādes izmaksas,
 C_2 – krājumu uzglabāšanas izmaksas par 1 vienību,
 D – pieprasījums.



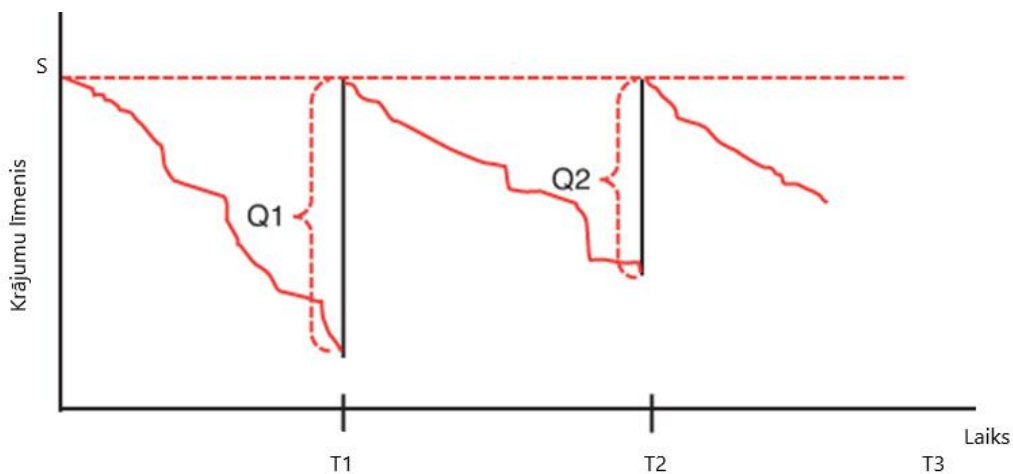
3.12. att. Ekonomiskā pasūtījuma daudzums – Atkārtotā pasūtīšanas punkta politika.

Periodiskās pārskatīšanas krājumu politika. Saskaņā ar šo politiku (sk.

3.13. att.) pēc noteikta laika perioda (T) periodiski tiek pārskatīts krājumu līmenis. Kad ir sasniegts pārskatīšanas brīdis, tiek veikts pasūtījums Q , lai palielinātu krājumu līmeni līdz maksimālajam krājumu līmenim S (3.7):

$$Q = (S - X), \quad (3.7)$$

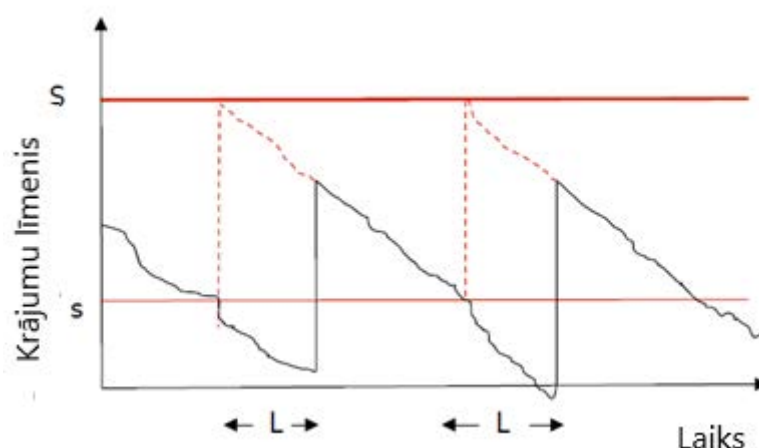
- kur Q – pasūtījuma daudzums,
 S – maksimālais krājumu līmenis,
 X – krājumu līmenis pārskatīšanas brīdī.



3.13. att. Periodiskās pārskatīšanas krājumu politika.

Izvēles papildināšanas politika. Šis ir periodiskas pārskatīšanas krājumu politikas variants (sk. 3.14. att.). Šim krājumu modelim ir divi parametri: minimālais krājuma līmenis s un maksimālais krājuma līmenis S . Krājumu līmeņi tiek periodiski pārskatīti pēc noteikta laika T . Ja krājuma līmenis X pārskatīšanas brīdī ir lielāks par minimālo krājuma līmeni s , tad pasūtījums netiek veikts un tiek pieņemts lēmums par papildināšanas atlikšanu uz nākamo pārskatīšanas brīdi. Ja krājuma līmenis X pārskatīšanas brīdī ir vienāds vai mazāks par minimālo krājuma līmeni s , tad tiek pasūtīts apjoms Q , lai palielinātu krājumu līmeni līdz maksimālajam krājuma līmenim S (3.8):

$$Q = \begin{cases} S - X, & \text{ja } X \leq s \\ 0, & \text{ja } X > s \end{cases} \quad (3.8)$$



3.14. att. Izvēles papildināšanas politika.

A un B klases preču papildināšanas politikas rezultāti ir atspoguļoti 3.8. tabulā. C klases precēm nav ieteicams veidot drošības krājumus.

3.8. tabula

Preču papildināšanas politikas rezultāti (fragments)

	Prognoze	Standartnovirze	Servisa līmenis	Drošības krājumi	Pasūtīšanas punkts
produkts71	19334	5427,7	0,95	8928	28262
produkts33	1116	974,6	0,95	1603	2719
produkts56	219	108,8	0,95	179	398
produkts137	196	133,3	0,95	219	415
...					

Ja izejvielu krājumu līmenis sasniedz minimālo līmeni, tad tiek veikts papildināšanas pasūtījums. Izejvielu drošības krājumi ir nepieciešami arī, lai izvairītos no ražošanas pārtraukšanas vai kavēšanās izejvielu trūkuma dēļ [58].

Izstrādātajai daudzāģentu sistēmai tika izvēlēta politika “Ekonomiskā pasūtījuma daudzums – atkārtotās pasūtīšanas punkts”.

3.5. Iepirkuma aģenta izstrādāšana

Promocijas darbā pieņemts, ka piegādātājam izejmateriāli, kas nepieciešami ražotājam, ir neierobežotā daudzumā un var tikt piegādāti bez kavēšanās. Piegādātāja aģents un Iepirkuma aģents (no ražotāja) sazinās, izmantojot *RažotājaPiegādātāja* ontoloģiju, lai vienādi saprastu sarunu.

3.5.1. Izejvielu iepirkšanas uzdevums

Izejvielu vadība ir process, kas tiek uzskatīts par daļu no vispārējā piegādes ķēdes vadības procesa un ir vērsts uz problēmu risināšanu, nodrošinot augstas kvalitātes materiālus ar viszemākajām iespējamām cenām, lai nodrošinātu ka šie materiāli nodrošina vislabākās priekšrocības ražošanas procesā. Izejvielu vadība sākas ar izejvielu iegādi un to novērtēšanu, turpinās šo materiālu izmantošanā ražošanas procesā un arī ietver pārpalikuma daudzuma novērtēšanu, kad šie materiāli tiek ražoti gala produktā.

Izejvielu vadības uzdevums sākas ar gala produkta ražošanai nepieciešamo materiālu novērtēšanu un izvēli. Izejvielu iepirkšanas menedžeris velta laiku un pūles, lai atrastu pareizos materiālus, izmantojot uzņēmuma resursus, lai nodrošinātu, ka tiem ir atbilstošs kvalitātes līmenis, un pēc tam rīkojas, lai iegādātos materiālus vēlamajā daudzumā.

Iepirkuma procesa laikā menedžeris arī cenšas panākt vienošanos par iespējami labāko izejvielu cenu, kurus izmantos ražošanas procesā. Izejvielu vadībā galvenā uzmanība tiek pievērsta pareizo materiālu atrašanai un līgumisko vienošanos izmantošanai ar samazinātu cenu vai apjoma iepirkuma cenu, lai pārliecinātos, ka uzņēmumam ir atbilstošs nepieciešamo materiālu krājumu līmenis darbības uzturēšanai.

Izejvielu vadības process ir nepārtraukts: visu laiku notiek centieni nodrošināt izejvielu pienācīgu kvalitātes līmeni un par viskonkurētspējīgākajām cenām, tas ļauj menedžerim atrast jaunus piegādātājus un, iespējams, ietaupīt uzņēmumam vairāk naudas nākotnē. Vienmēr jāapzinās iespējas, kuras uzņēmumam var piedāvāt ražošanas vajadzībām nepieciešamo materiālu nodrošināšanai. Uzņēmums šādi var arī samazināt visus ražošanas traucējumus, kas varētu rasties, ja parastais pārdevējs pēkšņi kādu iemeslu dēļ nespēj apmierināt ražotāja pieprasījumu [64, 86].

Iepirkuma aģenta *uzdevums* ir pasūtīt izejvielas no Piegādātāja aģenta, kā arī sadarboties cenu un piegādes iespēju jautājumos. Iepirkuma aģenta *mērķis* ir iegādāties atbilstošu izejmateriālu par iespējami labāko cenu (min.) ar vislabāko kvalitāti (augstu) ar vislabāko piegādes laiku (min.).

3.5.2. Iepirkuma aģenta darbības algoritms

Sākotnēji Iepirkuma aģents ir dīkstāvē. Kad izejvielu daudzums sasniedz pasūtīšanas punktu (šis punkts tika apskatīts agrāk), tiek aktivizēta Iepirkuma aģenta darbība.

Iepirkuma aģents darbojas saskaņā ar saviem uzvedības noteikumiem, kas nosaka aģenta darbības.

- Nepietiekama izejvielu daudzuma gadījumā: nosūtīt pieprasījumu Piegādātāja aģentam(-iem), kurš(-i) piegādā izejvielas;
- Ja Piegādātāja aģenta piedāvātā cena un piegādes laiks ir pieņemami, apstiprināt piedāvājumu, ja nē – noraidīt to;
- Kad pasūtītā izejviela tiek nosūtīta ražotājam, Iepirkuma aģents nonāk gaidīšanas režīmā līdz nākamajai situācijai ar nepietiekamu izejvielu daudzumu.

Tiek piedāvāts nepārtraukti vākt informāciju no dažādiem piegādātājiem: lai atrastu jaunus piegādātājus ar labākām cenām un piegādes iespējām, vai arī lai atrastu alternatīvu esošajiem piegādātājiem, lai neparedzētu apstākļu gadījumā, kad parastais piegādātājs nevar piegādāt izejvielas, kuras var izraisīt ražošanas kavēšanos vai pārtraukumu, būtu alternatīvs piegādātājs.

Iepirkuma aģents izveido pieprasījumu iegādāties izejvielas, veic pārrunas ar Piegādātāja aģentu par cenu un piegādes laiku (sk. 3.15. att.). Iepriekšminēto aģentu mijiedarbība notiek, izmantojot kopēju *Ražotāja Piegādātāja* ontoloģiju [62].

Informācijas plūsma starp diviem mezgliem ir zema līmeņa. Informācijas plūsma ir šāds divvirzienu process:

- Izejvielu pieprasījums no Iepirkuma aģenta Piegādātāja aģentam;
- Piegādātāja piedāvājumi par pieprasītajām izejvielām Iepirkuma aģentam;
- Iepirkuma aģentam noraidīt vai pieņemt piedāvājumu no piegādātāja;
- Apstiprinājums par pieņemšanu un pieprasīto izejvielu nosūtīšanas apstiprinājums.

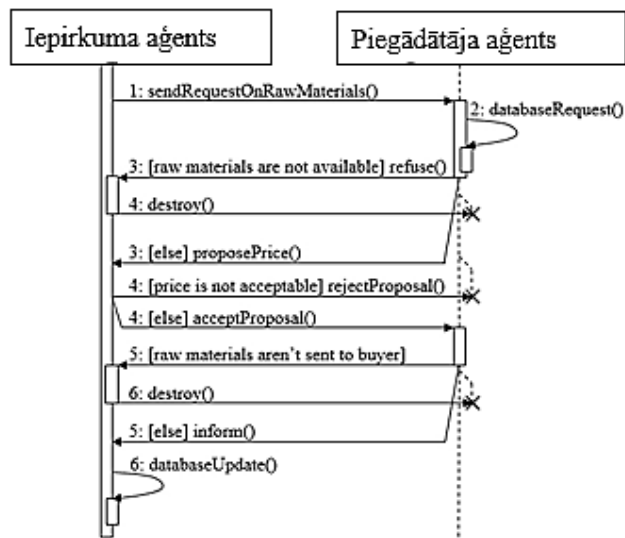
Promocijas darba ietvaros tika analizēta citu autoru līdzīgu aģentu uzvedība, piedāvātās aģentu darbības ir šādas:

- Pārbaudīt izejvielu pietiekamību ražošanai. Būt atbildīgam par piegādātāju izvēli – ar minimālām izejvielu cenām un maksimāli ātrākajām piegādēm. Ģenerēt iepirkuma pasūtījumus un uzraudzīt izejvielu piegādi;
- Mijiedarboties ar piegādātāju par izejvielām. Izvēlēties tādu piegādātāju, kurš piedāvā mazāko cenu;
- Nodarboties ar izejvielu iepirkšanu no piegādātājiem. Apskatot izejvielu pieprasījumu, esošos krājumus, ģenerēt iepirkumu pasūtījumu.

Izstrādātajā daudzāģentu sistēmā Iepirkuma aģentam tiek piedāvāts šāds uzvedības algoritma apraksts:

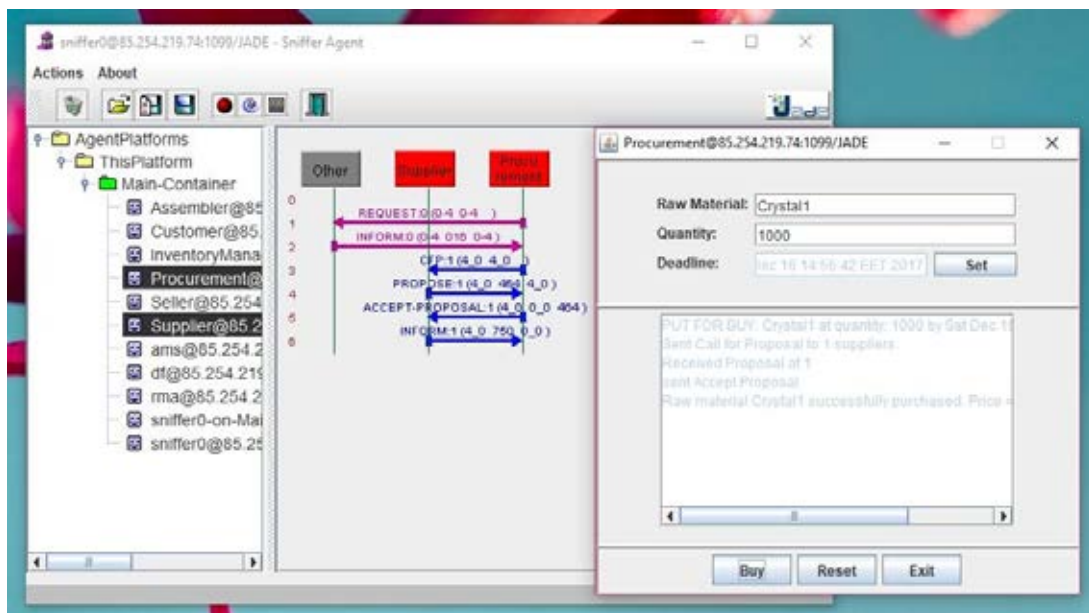
- Nodarboties ar izejvielu iepirkšanu no piegādātājiem. Būt atbildīgam par piegādātāju izvēli:
 - ar minimālām izejvielu cenām, ar maksimāli augstāko kvalitāti, ar maksimāli ātrākajām piegādēm – ja ir pietiekošs laiks izejvielu piegādei;
 - ar minimālo piegādes laiku, ar maksimāli augstāko kvalitāti – ja izejvielas ir nepieciešamas ražošanai pat par lielāku cenu.
- Ģenerēt iepirkuma pasūtījumus un uzraudzīt izejvielu piegādi.

Turpmākajos pētījumos var pievienot arī citus kritērijus izejvielu iepirkšanai, tādus kā kvalitāte, kas šajā pētījumā netiek pievienots, jo tiek uzskatīts, ka produkcijas kvalitāte jābūt augstākajā līmenī.

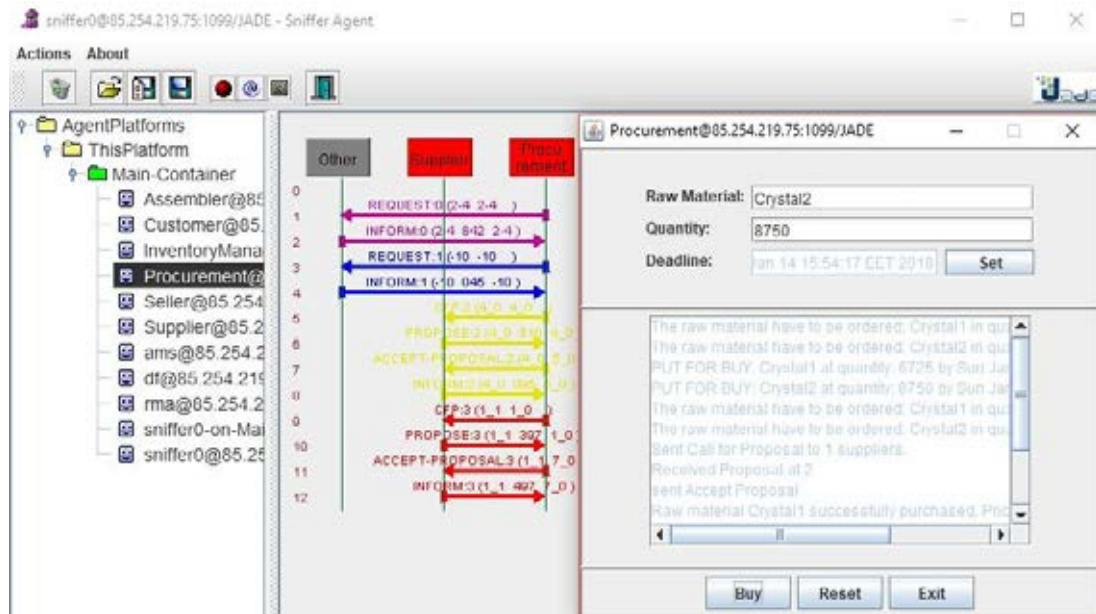


3.15. att. UML diagramma.

JADE ietvarā Iepirkuma aģents izveido pasūtījumus Piegādātāja aģentam, ja noliktavā nav pietiekams izejvielu daudzums (sk. 3.16. att., 3.17. att.).



3.16. att. Divu aģentu sazināšanās JADE ietvarā – pirmais pasūtījums.



3.17. att. Divu aģentu sazināšanās *JADE* ietvarā – otrs pasūtījums.

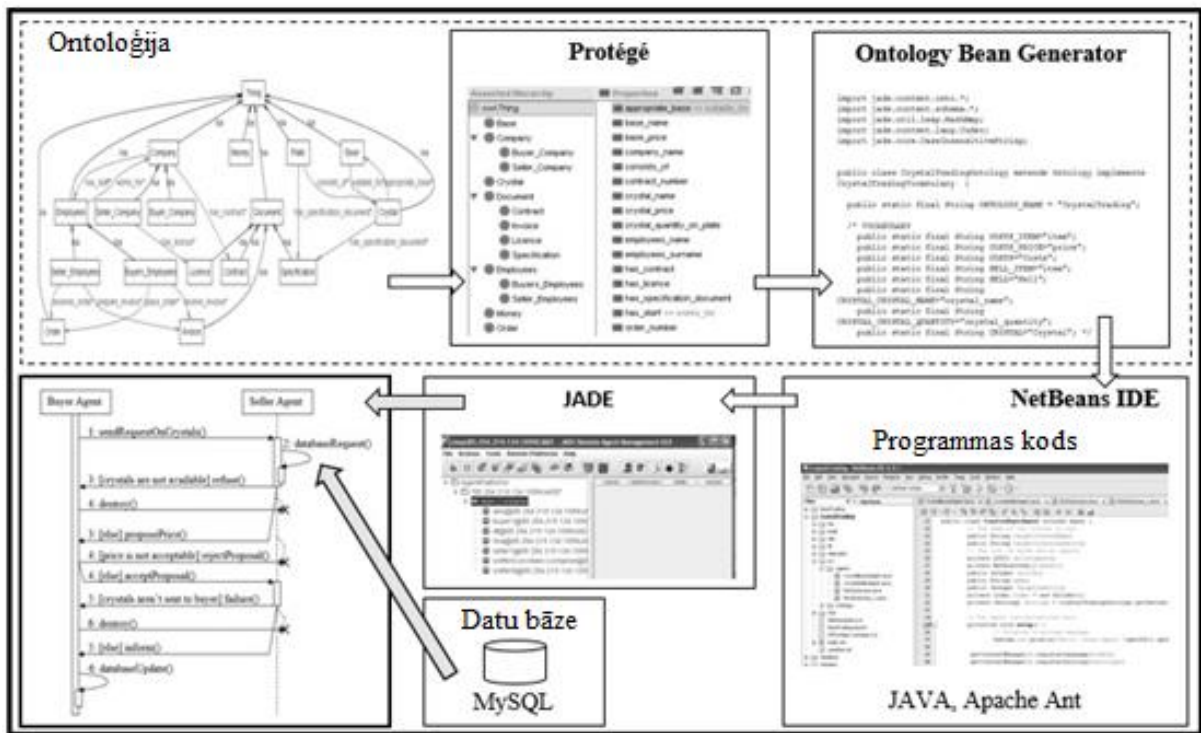
Attēlos ir redzama divu aģentu (Piegādātāja un Iepirkuma) mijiedarbība: CFP (Call For Proposal – uzaicinājums iesniegt priekšlikumus), PROPOSE (piedāvājums), ACCEPT_PROPOSAL (piedāvājuma akceptēšana) un INFORM (mijiedarbības rezultāta apstiprinājumam). Iepirkuma aģenta logā ir redzams kādas izejvielas tika pasūtītas, kādā daudzumā, Piegādātāja piedāvājums un mijiedarbības rezultāts. Šīs informācijas izvade nav obligāta un neietekmē aģenta darbību, tā ir domāta lietotājiem, lai vieglāk saprastu aģentu mijiedarbības gaitu.

3.6. Ontoloģiju izstrādāšana

Zināšanu apmaiņa starp piegādes ķēdes dalībniekiem var saskarties ar šādiem šķēršļiem: konfidencialitāte, uzticība un standarti [78]. Savukārt promocijas darbā tiek piedāvāta informācijas koplietošana kā līdzeklis informācijas apmaiņai un apstrādei starp viena mezgla aģentiem un ontoloģijas starpmezglu saziņai, izmantojot vienādu informācijas aprakstu formālā veidā.

Aģentu ontoloģijas uzbūve atšķiras no parastās ontoloģijas uzbūves: tai nepieciešama abstrakta koncepcija *AgentAction* un abstrakta koncepcija *Predicate*.

Lai ontoloģijas varētu izmantot aģentu mijiedarbībai, tām ir jābūt formāli aprakstītām. Vispirms ontoloģijas ir jāizstrādā *Protege* ontoloģiju redaktorā. *OntologyBeanGenerator* pārveido tās *JADE* klasēs, un tās var tikt izmantotas aģentu mijiedarbībai *JADE* ietvarā (3.18. att.). Izveidotas *JADE* klases izmanto *NetBeans IDE* ar aģentu kodiem. Nākamais solis ir jāiekļauj datu bāzes piekļuve un palaist daudzāģentu sistēmu. Izstrādāti aģenti atsāks savu darbību atbilstoši saviem darbības algoritmiem.



3.18. att. Ontoloģiju izveidošana saziņai starp piegādes ķēdes mezgliem.

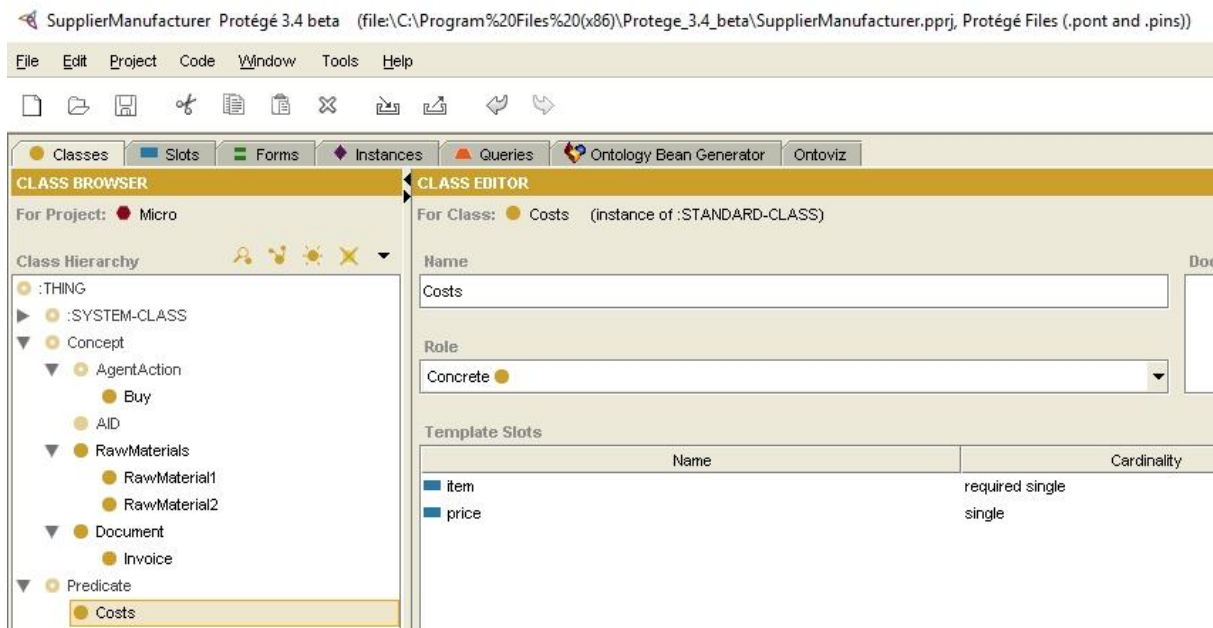
Izstrādātajā sistēmā ir divas dažādas ontoloģijas piegādes ķēdes starpmezglu mijiedarbībai: *RažotājaPiegādātāja* ontoloģija un *RažotājaPircēja* ontoloģija. Tās tiek izmantotas aģentu saziņai JADE ietvarā.

3.6.1. RažotājaPiegādātāja ontoloģijas izstrādāšana

Saskaņā ar iepriekšminētajiem ontoloģijas veidošanas posmiem (sk. 2.2.2.2. apakšpunktu), ja tiek noteikts, ka nav atbilstošas taksonomijas/ontoloģijas atkārtotai izmantošanai, tās izstrāde sākas ar galveno jēdzienu definīcijām, kuras izmanto, lai izteiktu nepieciešamās zināšanas konkrētai uzņēmējdarbības (komerciālai) darbībai.

Autore, iedvesmojoties no ontoloģijas novērtēšanas pieejas, kas balstīta uz datu avotu, piedāvā izveidot ontoloģiju, pamatojoties uz Piegādātāju un Iepirkuma aģentu uzvedību aprakstu šim uzdevumam. Abstrakti to var raksturot šādi: ir nepieciešams pirkt izejvielas *RM* daudzumā *Q* par iespējami minimālu cenu un ar īsāko sagatavošanās laiku; šis pieprasījums ir jānumurē.

Šo uzvedību var parādīt ar ontoloģiskām koncepcijām Piegādātāju un Ražotāju komunikācijai: *RawMaterials* ar apakšklasēm *RawMaterial1*, *RawMaterial2*. *AgentAction* koncepcija ir *Buy*, kas apraksta aģenta sarunas mērķi. *Predicate* koncepcija ir *Costs*, kas raksturo izejvielu cenu *price*, kur cena ir slots ar *float* vērtības tipu. Ir arī nepieciešama koncepcija *Documents* ar apakšklasi *Invoice* (sk. 3.19. att.).



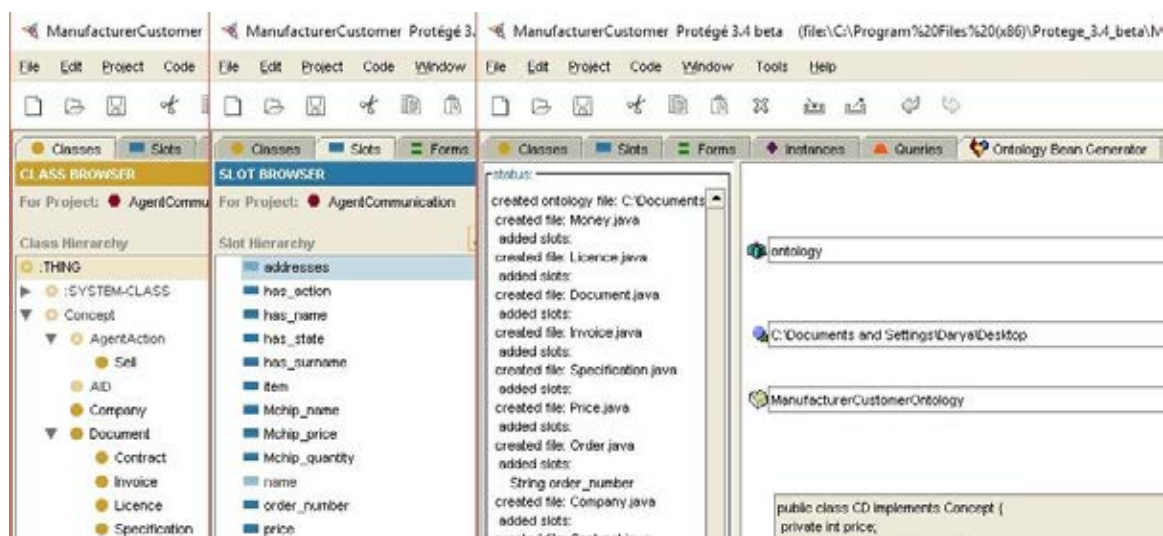
3.19. att. *RažotājaPiegādātāja* ontoloģijas izstrādāšana *Protégé* 3.4 beta.

Autore piedāvā šai ontoloģijai izmantot lietošanā balstītu novērtēšanas pieeju, kas tika aprakstīta 2.2.2.4. apakšpunktā.

3.6.2. *RažotājaPircēja* ontoloģijas izstrādāšana

RažotājaPircēja ontoloģijas izstrādāšana ir līdzīga *RažotājaPiegādātāja* ontoloģijai to veiktā uzdevuma dēļ (sk. 3.20. att.). Tā ir paredzēta *Ražotāja* un *Pircēja* aģentu mijiedarbībai.

Ontoloģijā jābūt *AgentAction* koncepcijai *Sell* (Pārdot) un *Predicate* koncepcijai *Costs* (Maksā). Abstrakti to var raksturot šādi: ir nepieciešams nopirkt precī *P* daudzumā *Q* par iespējami minimālu cenu un ar īsāko sagatavošanās laiku; šis pieprasījums ir jānumurē.



3.20. att. *RažotājaPircēja* ontoloģijas izstrādāšana izmantošanai *JADE* ietvarā.

Autore piedāvā izmantot lietošanā balstītu novērtēšanas pieeju arī šai ontoloģijai.

3.7. Saskarnes izstrādāšana sākotnējo datu ievadišanai daudzāģentu sistēmā

Promocijas darba pētījuma sākumā, izstrādājot daudzāģentu sistēmu, kur mijiedarbība starp āģentiem, arī starp viena mezgla āģentiem, tika realizēta ar ontoloģijām, ražošanas mezgla ontoloģijā tika apkopotas āģentu uzvedības, risināmie uzdevumi un āģentu sazināšanās cēloņi. Šajā ontoloģijā tika iekļauta visa informācija par katru āģentu, tā mērķa sasniegšanai un uzdevumu izpildei.

Iepirkuma process tika aprakstīts iepriekš (sk. 3.5 apakšnodaļu). Komunikācijas ar piegādātājiem laikā Iepirkuma āģents noformē savu "sarakstu" par piegādātājiem ražotāja ontoloģijā. Šajā sarakstā ir uzņēmuma nosaukums, pasūtītās izejvielas un to daudzums, katra pasūtījuma piegādes laiks. Tiek aprēķināts katra uzņēmuma minimālais un maksimālais izpildes laiks. Tas var palīdzēt lēmumu pieņemšanā par piegādātāju termiņa ierobežojuma gadījumā.

Krājumu vadības āģentam ir šādi dati: ražojamo produktu prioritātes līmenis, prognozēšanas rezultāti; papildināšanas politika.

Ražošanas āģenta darbībai jāsniedz šāda informācija: ražošanas iekārtu jauda, ražošanas procesu apraksts; ražošanas procesa izpildes laiks; nepieciešamo izejvielu daudzumi, kas ir vajadzīgi gatavā produkta ražošanai.

Pārdošanas āģents izveido sarakstu, kas līdzīgs Iepirkuma āģenta sarakstam, un tajā ir klienti, iegādātās preces, pakalpojumu līmenis, prioritātes līmenis un ražotāju apmierinātība ar viņu sadarbību.

Parasti ražotāja ontoloģijā daudzāģentu sistēmā jāietver šādi elementi: *AgentAction* koncepcijas *Assemble* un *Order*, kā arī iepriekšminēto atribūtu sarakstu.

Pētījuma rezultātā radās ideja *uz ontoloģijā balstītas saskarnes izstrāde* sākotnējo datu ievadišanai daudzāģentu sistēmā, katru situāciju uzskatot par jaunu ontoloģijas gadījumu un izveidojot ražotāja ontoloģiju.

Āģentu darbības ir definētas daudzāģentu sistēmas katra āģenta uzvedībā, un visas āģentu darbības, izņemot ražošanu, ir identiskas dažādiem sistēmas lietojumiem. Ražošanas process ir konkrētā lietojuma iezīme.

Ražošanas procesa apraksts ļāva secināt, ka katrs atsevišķs gadījums var būt ražošanas ontoloģijas *indivīds*, un āģenti savā darbībā izmantos pievienotu informāciju. Ražošanas procesu var aprakstīt ar šādu informāciju:

- ražošanas iekārtu jauda un tam vajadzīgais personāls,
- ražošanas procesa apraksts,
- izejvielu nosaukumi un daudzumi, kas nepieciešami gala produkta ražošanai.

Ražošanas iekārtu jauda ir nepieciešama, lai palielinātu tās lietderību un nepārslogotu to. Ražošanas procesa aprakstā ietilpst ražošanas darbību secība un ražošanas partijas apstrādes laiki. Izejvielu nosaukumi un daudzumi ir nepieciešami, lai gatavu produktu saražotu atbilstoši tā ražošanas tehnoloģijai.

Katra gadījuma individuālās ražošanas tehnoloģijas apraksts formulē zemāka līmeņa ontoloģiju, augšējā līmeņa ontoloģija formulē priekšmeta apgabala ražošanas ontoloģiju turpmākai atkārtotai izmantošanai. Domēna ontoloģiju var attēlot lietotāja saskarnē, kas redzama 3.21. att.

Design Preview [Interface]

File

Production process

Product:

Batch max quantity

Production template

Operation

Duration of operation

Equipment needed

Capacity of equipment

Personnel required

Raw material needed

Quantity of raw material

Raw material data base

Products data base

Data on previous sale

3.21. att. Domēna ontoloģijas reprezentācija lietotāja saskarnē.

Šis atsevišķā gadījuma apraksts nodrošina Ražošanas aģentu ar datiem, kas nepieciešami tā darbībai. Izejvielu datu bāzes, gatavās produkcijas datubāzes un iepriekšējo pārdošanas apjomu datu pievienošana izveido daudzāģentu sistēmu ar konkrētiem datiem.

3.8. Daudzāģentu sistēmas arhitektūras izstrādāšana

3.8.1. Uzdevuma joma un integrācijas prasības

Izstrādāto daudzāģentu sistēmu var izmantot dažādiem uzņēmumiem, kuru uzdevums ir dažādu izejvielu vai produktu iegāde, iespējams, to pārveidošana gatavā produkcijā un tālāka pārdošana, vienlaikus cenšoties samazināt uzglabāšanas un ražošanas/pārveidošanas izmaksas.

Izstrādātās sistēmas darbībai tiek piemērotas integrācijas prasības, kas atspoguļotas 3.9. tabulā.

Integrācijas prasības

Aģents	Prasības
Iepirkuma aģents	Pieklūve izejvielu datu bāzei
	Piegādātāju saraksts
Krājumu vadības aģents	Iepriekšējais pieprasījums
	Pieklūve gatavās produkcijas datu bāzei
Pārdošanas aģents	Pircēju saraksts
	Pieklūve gatavās produkcijas datu bāzei

Ražošanas aģenta izmantošanai ir nepieciešams ražošanas procesa apraksts: procesu secība, nepieciešamās izejvielas, ražošanas laiks, ražošanas iekārtu jauda utt.; šī informācija tiek ievadīta lietotāja saskarnē. Iepirkuma aģenta darbībai ir nepieciešama pieklūve izejvielu datu bāzei / uzskaitēi, Krājumu vadības aģentam un Pārdošanas aģentam ir jānodrošina pieklūve gatavas produkcijas datu bāzei / uzskaitēi. Krājumu vadības aģenta darbībai nepieciešama arī iepriekšējo periodu pieprasījumu dati utt.

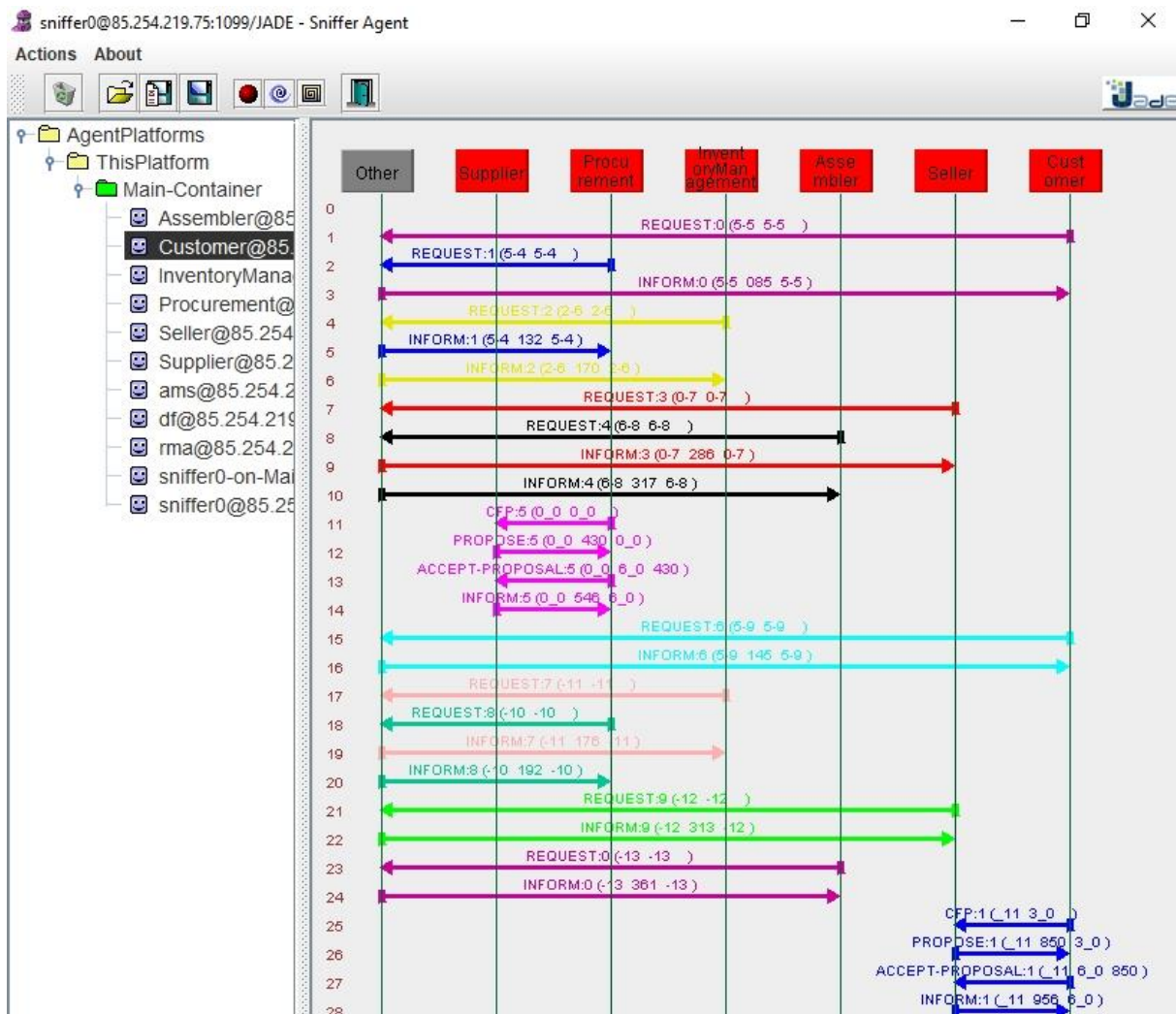
3.8.2. Daudzaģentu sistēmas infrastruktūra

Atsevišķu vienību lomas piegādes ķēdē tiek īstenotas kā atsevišķi aģenti. Daudzaģentu sistēma sastāv no nevienādabīgu veidu aģentiem, kas ievieš zināmu piegādes ķēdes vadības funkcionalitāti un ko sauc par funkcionāliem aģentiem. Tiem visiem ir zināma izpratne par sistēmas ontoloģiju, un sarunas sākšanai tie izmanto aģentu saziņas valodu *ACL* (Agent Communication Language).

Piedāvātās daudzģentu sistēmas izstrādāšanā tika veikti šādi soļi, lai sistēma darbotos piegādes ķēdes vadības uzdevumiem:

1. savākti dati par piegādes ķēdes procesiem,
2. izveidotas ontoloģijas *Protégé* ontoloģijas redaktorā,
3. ar *Ontology Bean Generator* palīdzību ontoloģijas tika pārveidotas klasēs, kuras ir piemērotas turpmākai izmantošanai *JADE* ietvarā,
4. izveidotas datu bāzes,
5. izveidoti programmas kodi aģentiem integrētajā izstrādes vidē *NetBeans IDE*,
6. ražošanas procesu aprakstīšanai un esošo datu pievienošanai daudzģentu sistēmai izstrādāta saskarne integrētajā izstrādes vidē *NetBeans IDE*.

Daudzaģentu sistēmas darbības gatavība, kā arī divu (Pircēja un Pārdošanas) aģentu mijiedarbība *JADE* ietvarā ir parādīta 3.22. att.



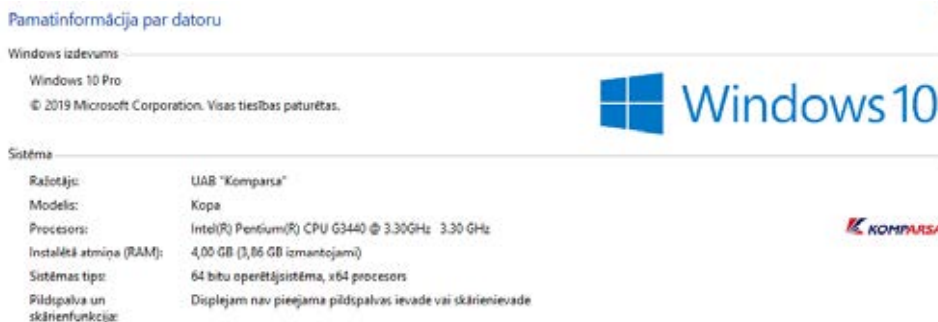
3.22. att. Pircēja un Pārdošanas aģentu mijiedarbība izstrādātajā daudzāģentu sistēmā *JADE* ietvarā.

Izstrādājot daudzāģentu sistēmu tika paredzēta atteiķnoturība, kas ir vērsta uz nepārtrauktu sistēmas pieejamību, ka arī atkopšanas laika novēršanu [99].

3.8.3. Izstrādātās daudzāģentu sistēmas ierobežojumi

Tehniskais ierobežojums izstrādātajai daudzāģentu sistēmai ir datora jauda aģentu darbībām un skaitļošanai, jo, ja ražošanas iecirknī pienāk n pasūtījumi, tad to ražošanas secību varianti ir $n!$, piemēram, ja pienāk trīs pasūtījumi, tad to secību varianti ir $3! = 6$, ja 10 pasūtījumi, tad $10! = 3628800$ varianti. Līdz ar to daudzāģentu sistēmas pilnvērtīgam darbam nepieciešams jaudīgs dators.

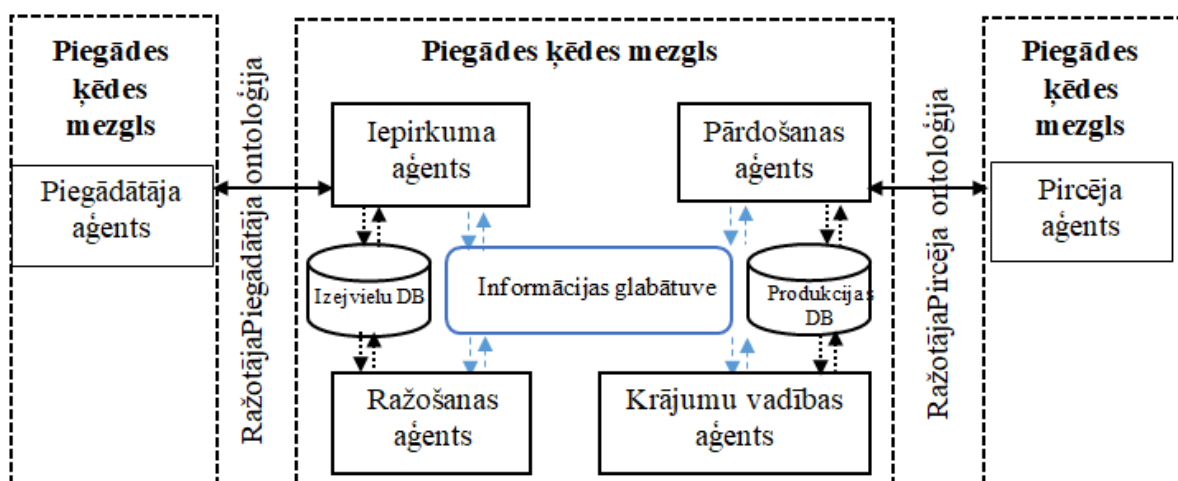
Izstrādātā daudzāģentu sistēma tika izstrādāta un aprobēta uz datora ar parametriem, kas parādīti 3.23. att. Ražošanas secību atrašana 3 pasūtījumiem uz šāda datora aizņēma 2 sekundes.



3.23. att. Darba datora aprīkojums.

3.9. Daudzaģentu sistēmas izveidošana pēc izstrādātās pieejas

Pēc piedāvātās pieejas izveidotā atkārtoti izmantojamā daudzāģentu sistēma redzama 3.24. att. Tajā ir seši aģenti, no kuriem četri ir ražotāja mezgla aģenti, piektais aģents pārstāv piegādātāja Pārdošanas aģentu (Piegādātāja aģents) un tas ir izstrādāts kā Pārdošanas aģents (sk. 3.2. apakšnodaļu). Sestais aģents pārstāv pircēja Iepirkuma aģentu (Pircēja aģents), šis aģents ir izstrādāts kā Iepirkuma aģents (sk. 3.5. apakšnodaļu).



3.24. att. Izstrādātās daudzāģentu sistēmas galīgais izskats.

Izstrādātās daudzāģentu sistēmas lietošana sākas ar lietotāja saskarnes aizpildīšanu un pēc tam – individuālu daudzāģentu sistēmas izpildi *JADE* ietvarā.

3.10. Nodaļas apkopojums un secinājumi

Šajā nodaļā detalizēti tika aprakstīta daudzāģentu sistēmas izstrādāšana. Tā sākas ar piedāvātu pieeju daudzāģentu sistēmas izstrādāšanai. Pirmais solis pēc šīs pieejas ir sistēmai nepieciešamā aģentu daudzuma noteikšana (sk. 3.1.2. punktu).

Šajā nodaļā izklāstīti katra aģenta uzdevumi un mērķi, kā arī to uzvedības apraksti. Iepirkuma aģents nodarbojas ar izejvielu iegādi; Pārdošanas aģents saņem pasūtījumus un piegādā tos pircējiem; Ražošanas aģents nodarbojas ar ražošanas plānošanu un pārplānošanu

kopējā ražošanas laika samazināšanai; Krājumu vadības aģents izskaitļo ražošanas produkcijas prioritātes, izveido pieprasījuma prognozes un piedāvā papildināšanas politiku. Starpmezglu mijiedarbībai nepieciešamo ontoloģiju izstrādāšana ir parādīta 3.6. apakšnodaļā.

Nodaļas beigās ir aprakstīta saskarnes izstrādāšana sākotnējo datu ievadīšanai daudzāģentu sistēmā, ir aprakstītas prasības izstrādātās daudzāģentu sistēmas veiktspējai, definēta sistēmas infrastruktūra un parādīta daudzāģentu sistēma *JADE* ietvarā, kā arī tika apskatīti daudzāģentu sistēmas ierobežojumi (sk. 3.8. apakšnodaļu).

Galvenie promocijas darba trešās nodaļas secinājumi ir šādi:

1. Aģentu daudzums daudzāģentu sistēmā ir jādefinē, to daudzums ietekmē sistēmas darbības efektivitāti. Tika piedāvāts sadalīt piegādes ķēdes funkcijas starp četriem aģentiem, kā piemēru izmantot ražotāja mezglu, un izveidot vienu aģentu piegādātāja mezglā un vienu aģentu klienta/starptarņa mezglā saziņai starp piegādes ķēdes mezgliem;
2. Ontoloģijas izstrādāšana ir nepieciešama daudzāģentu sistēmas izstrādāšanā *JADE* ietvarā aģentu saziņai. Tika piedāvāts izveidot divas ontoloģijas kā saziņas kanālus starp mezgliem;
3. Tika piedāvāts Ražošanas aģentam lietot ražošanas plānošanu un pārplānošanu, krājumu vadības paņēmienus – Krājumu vadības aģentam, izejvielu iegādi uzticēt Iepirkuma aģentam un Pārdošanas aģentam – pasūtījumu saņemšanu no klientiem;
4. Izstrādātā saskarne sākotnējo datu ievadīšanai daudzāģentu sistēmā ļauj lietot izstrādāto daudzāģentu sistēmu atkārtoti, katram atsevišķam gadījumam aprakstot ražošanas procesus ar nepieciešamo iekārtu un darbinieku jaudu, nepieciešamajām izejvielām un izpildes laiku katrai ražošanas produkta operācijai;
5. Izstrādātā daudzāģentu sistēma var izpildīt piegādes ķēdes vadības funkcijas, vienlaikus piedāvājot krājumu samazināšanu un ražošanas procesu uzlabošanu.

Šī daudzāģentu sistēma ir izstrādāta, to var modificēt un attīstīt, ja šāda nepieciešamība radīsies. Šīs modifikācijas un attīstīšanas piemērs ir aprakstīts nākamajā nodaļā.

4. IZSTRĀDĀTĀS DAUDZĀGENTU SISTĒMAS ATTĪSTĪŠANA

Šī nodaļa ir veltīta izstrādātās daudzāģentu sistēmas attīstīšanas iespējām. Ja radīsies nepieciešamība attīstīt izstrādāto daudzāģentu sistēmu, piemēram, ar jauniem efektivitātes rādītājiem vai jaunu funkcionalitāti, tad šo daudzāģentu sistēmu var paplašināt. Var būt arī otrādi, ja radīsies nepieciešamība izmantot samazinātu āģentu daudzumu, piemēram, bez ražošanas, tad izstrādāto daudzāģentu sistēmu var samazināt līdz nepieciešamo āģentu kopai. Šajā nodaļā parādīts, kā var attīstīt daudzāģentu sistēmu: pirmkārt, jauna āģenta izstrādāšana, otrkārt, jauna efektivitātes rādītāja pievienošana daudzāģentu sistēmā, un treškārt, esošā āģentu skaita samazināšana.

4.1. Jauna āģenta ieviešana daudzāģentu sistēmā

Izstrādātajā daudzāģentu sistēmā ir atspoguļotas piegādes ķēdes pamata funkcijas un tika pieņemts, ka iekšējā transportēšana nav iekļauta. Tomēr var gadīties, ka šīs iekšējās transportēšanas nozīme ir samērā svarīga.

Transportēšana ir produkta/kravas pārvietošanas process no viena punkta uz otru. Iekšējā transportēšana iekļauj sevī:

- izejvielu transportēšanu no noliktavas uz darba vietu,
- detaļu un pusfabrikātu transportēšanu starp ražošanas darbnīcām/iekārtām,
- noliktavu preču pārvietošanu šķirošanai, partijas veidošanai,
- pusfabrikātu pārvietošanu,
- gatavo produktu transportēšanu uz noliktavu.

4.1.1. Transportēšanas āģenta mērķis un uzdevums

Transportēšanas āģenta mērķis ir samazināt pārvietošanas laiku, izvairoties no liekām un bezjēdzīgām darbībām.

Transportēšanas āģenta uzdevums ir piedāvāt ātrāko, nevis īsāko, ceļu no vienas iekārtas līdz otrai, vienlaicīgi fiksējot detaļu un izejvielu pārvietošanu no izejvielu noliktavas uz ražošanas iekārtām, un transportēt gatavus produktus uz gala produkcijas noliktavu.

4.1.1.1. Īsākā ceļa atrašanas uzdevums

Transportēšanas āģents neizvēlas ražošanas maršrutu, ražošanas operāciju secību ir iepriekš definēta, bet izejvielu un produktu pārvietošanas maršruti var būt dažādi. Transportēšanas āģenta uzdevums ir piedāvāt *ātrāko* ceļu, jo mērķis ir samazināt pārvietošanas laiku, to var realizēt ar īsākā ceļa atrašanas uzdevuma algoritma palīdzību.

Īsākā ceļa atrašanas uzdevums ir atrast tādu ceļu starp diviem punktiem (virsoņiem) grafā, kurā tiek minimizēta visa ceļa malu svaru summa. Šis uzdevums ir viens no svarīgākajiem klasiskajiem uzdevumiem grafu teorijā. Šobrīd ir pieejami daudzi algoritmi, lai to atrisinātu.

Šī uzdevuma nozīmīgumu nosaka dažādi praktiskie lietojumi, piemēram, GPS navigatori meklē īsāko ceļu starp diviem krustojumiem. Virsotnes ir krustojumi, un ceļi ir malas, kas atrodas starp tiem. Ja ceļu garums starp krustojumiem ir minimāls, tad atrastais ceļš ir visīsākais.

Īsākā ceļa atrašanas/noteikšanas uzdevums var tikt definēts neorientētam, orientētam vai jauktam grafam. Jauktam un orientētam grafam jāņem vērā arī malu virzieni. Ir dažādi īsākā ceļa uzdevuma formulējumi:

1. Īsākais ceļš uz noteiktu galamērķi. Ir nepieciešams atrast īsāko ceļu uz norādīto galamērķa virsotni t , kas sākas katrā grafa virsotnē (izņemot t). Mainot katra grafa malas virzienu, šo uzdevumu var samazināt līdz vienas avota virsotnes uzdevumam (kurā īsākais ceļš tiek meklēts no konkrētās virsotnes uz visiem citiem).
2. Īsākais ceļš starp konkrēto virsotņu pāri. Ir nepieciešams atrast īsāko ceļu no dotās virsotnes u uz doto virsotni v .
3. Īsākais ceļš starp visiem virsotņu pāriem. Ir nepieciešams atrast īsāko ceļu no katras virsotnes u uz katru virsotni v . Šo problēmu var atrisināt arī, izmantojot algoritmu, kas tika izstrādāts, lai atrisinātu viena avota virsotnes problēmu, bet parasti to atrisina ātrāk.

Dažādās uzdevuma nostādnēs malas garums var būt ne tikai pats garums, bet arī *laiks*, izmaksas, izdevumi, resursu daudzums (materiāls, finanses, enerģija, utt.) vai citas īpašības, kas saistītas ar katras malas pāreju. Tādējādi uzdevums ir praktiski piemērots daudzās jomās (datorzinātne, ekonomika, ģeogrāfija, utt.).

Īsākā ceļa atrašanas uzdevums ir ļoti bieži sastopams situācijās, kad ir nepieciešams ņemt vērā papildu ierobežojumus. To esamība var ievērojami palielināt uzdevuma sarežģītību, piemēram:

- Īsākais ceļš, kas iet caur noteiktu virsotņu kopu. Var apsvērt divus ierobežojumus: īsākajam ceļam jāiet cauri izvēlētajam virsotņu kopumam, un īsākajam ceļam jāiekļauj pēc iespējas mazāk neizvēlēto virsotņu. Pirmais no tiem ir labi zināms operāciju pētījumu teorijā;
- Orientētā grafa minimālais virsotņu pārklājums ar ceļiem. Tiek meklēts grafa pārklājums ar minimālo ceļu skaitu, proti, visu $s - t$ ceļu apakškopu, lai katra orientētā grafa virsotne piederētu vismaz vienam šādam ceļam;
- Nepieciešamo ceļu uzdevums. Nepieciešams atrast minimālo $s - t$ ceļu jaudas komplektu tā, lai katram R tiktu atrasts ceļš P , kas ietver to – dažu ceļu kopums orientētajā grafā G ;
- Orientētā grafa minimālais loku pārklājums ar ceļiem. Uzdevums ir atrast visu ceļu apakškopas minimālo skaitu, lai katrs loks pieder vismaz vienam šādam ceļam. Tajā pašā laikā pastāv papildu prasība, ka visi ceļi sākas no tās pašas virsotnes.

Tā kā pastāv dažādas uzdevuma nostādnes, ir populārākie algoritmi, lai atrisinātu īsāko ceļu atrašanas uzdevumu grafā:

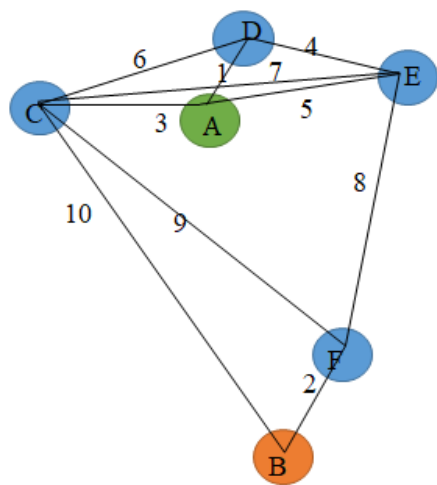
- Dijkstra algoritms atrod īsāko ceļu no vienas no grafa virsotnes līdz visām pārējām. Algoritms darbojas tikai grafos, kuros nav malu ar negatīvu svaru;

- Bellmana-Forda algoritms atrod īsākos ceļus no vienas grafa virsotnes uz visām pārējām svērtā grafā. Malu svars var būt negatīvs;
- Meklēšanas algoritms A* atrod maršrutu ar viszemākajām izmaksām no vienas virsotnes (sākotnējās) uz citu (mērķa, gala), izmantojot meklēšanas algoritmu pēc pirmās labākās atbilstības grafā;
- Floyd-Warshall algoritms atrod īsākos ceļus starp visām svērtā orientēta grafa virsotnēm;
- Džonsona algoritms atrod īsākos ceļus starp visiem svērtā orientēta grafa virsotņu pāriem;
- Lī algoritms (viļņu algoritms) ir balstīts uz platuma meklēšanas metodi. Tas atrod ceļu starp grafa virsotnēm s un t (s nesakrīt ar t), kas satur minimālo starpposmu (malu) skaitu. Galvenais lietojums – izsekot elektriskajiem savienojumiem uz čipi un iespiedshēmas platēm. To izmanto arī, lai atrastu īsāko attālumu kartē stratēģiskajās spēlēs;
- Īsāko ceļu atrašana, pamatojoties uz Kildala algoritmu.

4.1.1.2. Īsākā ceļa atrašanas uzdevuma piemērs

Algoritma izvēle ir aprakstīta [101]. Ja ir neinformēta meklēšana, t.i., nav zināms, vai kustība noris pareizā ceļa virzienā, un informēta meklēšana, kad ir pieejama informācija, kura nedod informāciju par ceļu līdz mērķim, bet par to, kā kustēties lai sasniegtu mērķi.

Piemēram, ir jāatrod īsakais ceļš no punkta A līdz punktam B , taisna ceļa nav bet ir dažādas alternatīvas, kā sasniegt mērķi (4.1. att.)



Sākumpunkts	Mērķis	Taisns ceļš
A	B	-
A	C	3
A	D	1
A	E	5
C	D	6
D	E	4
C	E	7
E	F	8
C	F	9
C	B	10
F	B	2

4.1. att. Īsākā ceļa atrašanas uzdevums.

Ja nebūtu nekādas informācijas par attālumiem, tad būtu akla meklēšana, ja ir zināmi tikai attālumi starp virsotnēm, tad būtu meklēšana ar vērtību kritēriju un tad sanāktu ceļš A-D-E-C-F-B, ar kopīgu attālumu 23m.

Pieņemsim, ka ir zināmi attālumi no dažiem punktiem līdz gala mērķim: $C-B$ 10, $D-B$ 11, $E-B$ 9. Šī informācija tiks lietota nākamā punkta izvēlē. Katru reizi izvēloties maksimāli tuvāko virsotni līdz mērķim, sanāks A-E-F-B. Tā ir alkatīgā meklēšana pēc pirmās atbilstības. Ja starp F un B ir šķērslis vai jebkāda cita iemesla dēļ nav iespējams tikt no F uz B , tad sanāks A-E-F-C-B.

Labākis maršruts ir tas, kuru raksturo minimālais attālums, un kopējais attālums jānovērtē katrā meklēšanas solī. Šādi darbojas meklēšanas algoritms A^* . Novērtēšanas funkcija tiek skaitīta pēc formulas(4.1):

$$f(n) = g(n) + h(n) , \quad (4.1)$$

kur $g(n)$ – sasniegšanas vērtība

$h(n)$ – heuristikā funkcija mērķa sasniegšanas vērtība

Vispirms tiek apskatīti trīs iespējami ceļi no punkta A: 1) no A līdz C, 2) no A līdz D un 3) no A līdz E:

$$A-C: 3+10=13$$

$$A-D: 1+11=12$$

$$A-E: 5+9=14$$

Mazāka vērtība ir A-D, tāpat nākamā virsotne ir D:

$$D-C: 12+6+10=28$$

$$D-E: 12+4+9=25$$

Skaitļi ir lielāki, nekā bija A-C un A-E, tad nākamā virsotne ir C:

$$C-D: 13+6+11=30$$

$$C-E: 13+7+9=29$$

$$C-F: 13+9+2=24$$

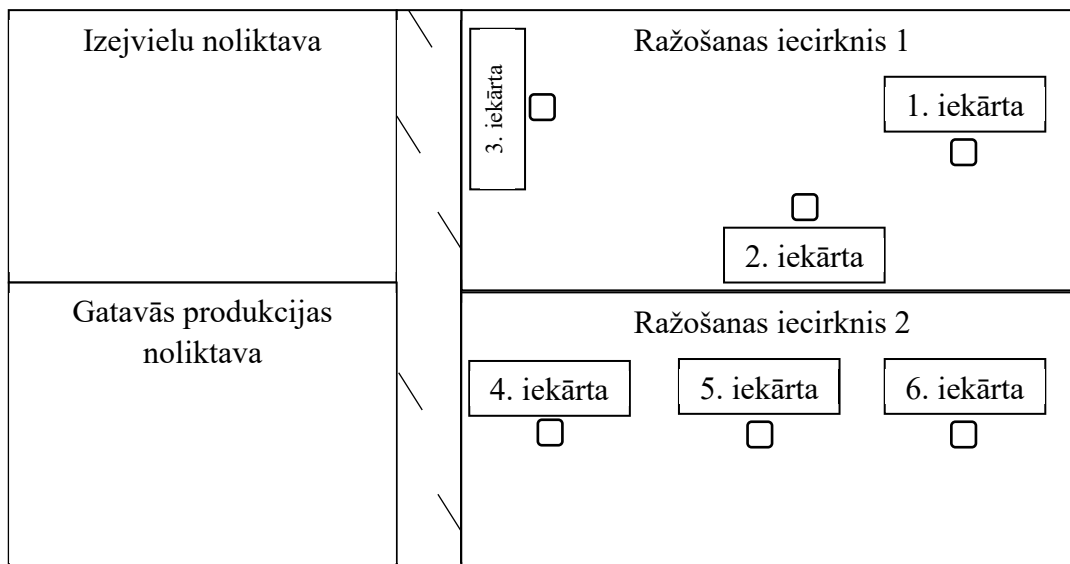
$$C-B: 13+10=23$$

Optimālais maršruts ir A-C-B.

Transportēšanas aģentam tiek izvēlēts A^* meklēšanas algoritms, jo tas tiek atzīts par piemērotāko, jo ir zināms attālums no sākumpunkta līdz mērķa punktam, bet nav zināms īsākais (ātrākais) ceļš. Savukārt, novērtēšanas funkcijas daļa ir ceļš pa taisnu, kas nevar būt lielāks par reālu ceļu līdz mērķim.

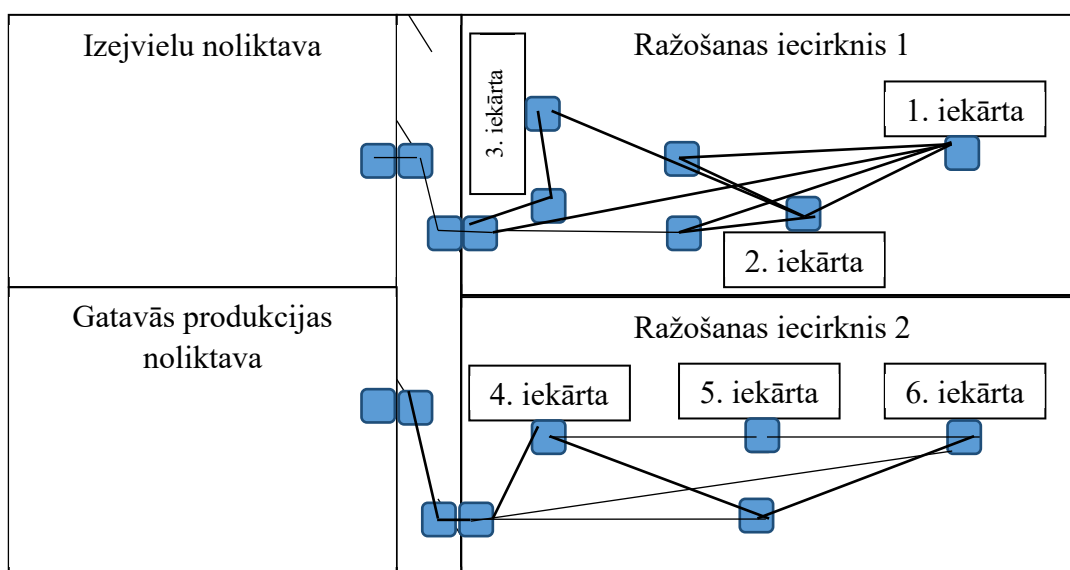
4.1.2. Uzvedības apraksts Transportēšanas aģentam

Ražošanas uzņēmumā izejvielas atrodas izejvielu noliktavā, ražošanas iecirkņos tās tiek apstrādātas atbilstoši ražošanas tehnoloģijai un tiek nogādātās gatavas produkcijas noliktavā pēc ražošanas un kvalitātes kontroles pārbaudes (4.2. att.).



4.2. att. Ražošanas uzņēmuma noliktavas un ražošanas iecikņi.

Var gadīties, ka darbinieks nepievērš uzmanību tam vai izvēlētais ceļš no viena punkta uz otru viņa maršrutā ir labākais – pirmkārt, ātrākais, un varbūt īsākais, un šādi netīšām palielina ražošanas laiku (4.3. att.).



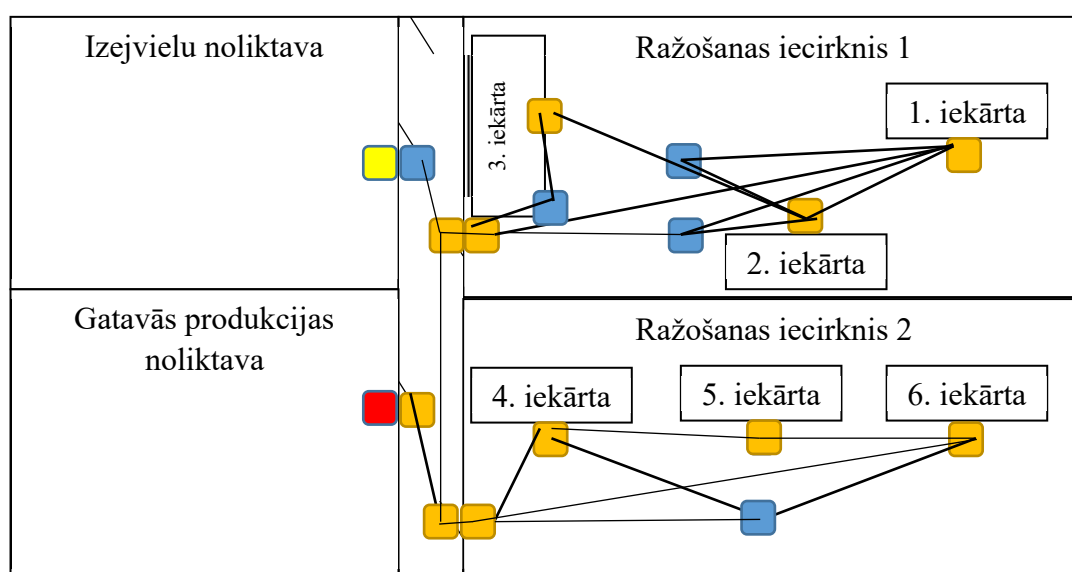
4.3. att. Iespējamie ceļi līdz nākamajam punktam.

4.3. att. ir atspoguļotas obligātās ražošanas operācijas – sākot ar izejvielu saņemšanu izejvielu noliktavā, to piegāde ražošanas iecirkņos apstrādei no 1. iekārtas līdz 6. iekārtai. Ātrākais ceļš līdz katram nākamajam punktam tiek aprēķināts ar Transportēšanas aģenta palīdzību.

Sākotnēji, Transportēšanas aģents ir dīkstāvē; kad Ražošanas aģents izveido jaunu ražošanas pasūtījumu, Transportēšanas aģents piefiksē no noliktavas paņemto izejvielu daudzumu un turpina savu darbību līdz gatavas produkcijas transportēšanai uz noliktavu:

- Katra pasūtījuma izpildei tiek paņemtas izejvielas no noliktavas un tiek fiksēts sākotnējais laiks;
- Transportēšanas aģentam ir zināma ražošanas operāciju secība, un tam ir zināmas atrašanās un mērķa vietas; Transportēšanas aģents aprēķina to ātrāko sasniegšanas ceļu;
- Tiek fiksēts katra ražošanas secības posma sākumlaiks un, kad tiek pabeigts katrs ražošanas secības posms, tiek fiksēts beigu laiks;
- Pēdējā ražošanas posmā piefiksē gatavās produkcijas ražošanas laiku, un gatavā produkcija tiek transportēta uz gala produkcijas noliktavu.

4.4. att. parādīts ātrākā ceļa atrašanās uzdevuma rezultāts – no izejvielu noliktavas līdz gatavās produkcijas noliktavai.



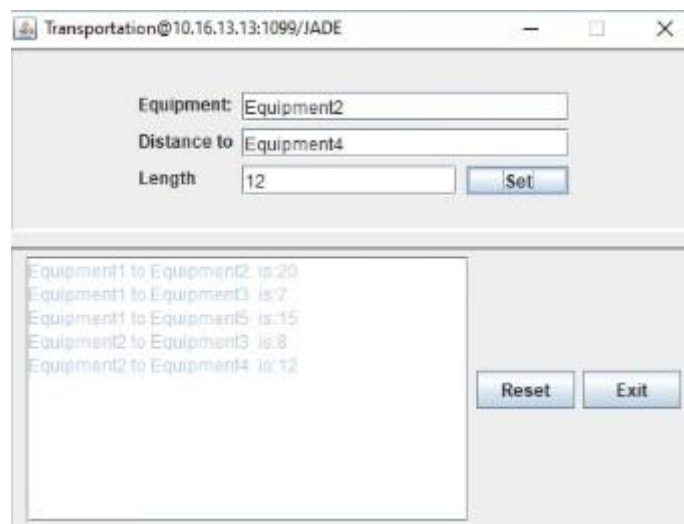
4.4. att. Ātrākais ceļš no izejvielu noliktavas līdz gatavās produkcijas noliktavai.

Transportēšanas aģentam nav nepieciešama sadarbība ar citiem aģentiem, tas tiek palaists kopā ar Ražošanas aģentu, izstrādātā daudzāģentu sistēmā (3.5. att.) katrā mezglā ir pieci aģenti.

4.1.3. Transportēšanas aģenta izstrādāšana JADE programmatūrā

Jauna aģenta izstrādāšanai ir nepieciešams izveidot 3 *java* failus *JADE* programmatūrā: vienā failā ir aģenta apraksts, otrajā failā aģenta darbības apraksts, trešais fails savieno pirmos divus failus.

Ražošanas iekārtu attālumi tiek piefiksēti daudzāģentu sistēmas darbības laikā un ievadīšanas laiks ir atkārtīgs no ražošanas iekārtu daudzuma, patērot laiku ievadei no vienas iekārtas līdz otrai – vidēji 22 sekundes. Transportēšanas aģenta dialoga loga izskats *JADE* ietvarā ir parādīts 4.5. att.

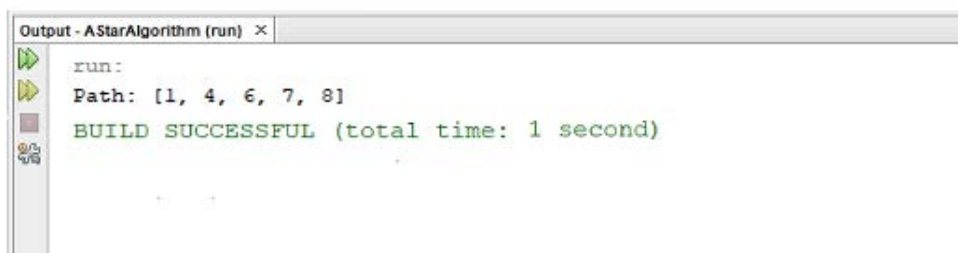


4.5. att. Transportēšanas aģenta izskats JADE ietvarā.

A* algoritma piemērs Transportēšanas aģentam ir parādīts 1. pielikumā.

4.1.4. Transportēšanas aģenta darbības rezultāts

A* algoritma rezultāts parāda vispiemērotāko maršrutu, tas ir visātrākais ceļš no sākumpunkta līdz mērķa punktam (4.6. att.).



4.6. att. A* algoritma darbības rezultāts.

Transportēšanas aģentu var turpmāk pilnveidot ar *GPS Tracking* palīdzību, lai noteiktu attālumus no noliktavas uz ražošanas iekārtām, vai izstrādāt robotu, kas var apbraukt teritoriju un piefiksēt visātrāko ceļu, izmantojot IT.

4.2. Jauna efektivitātes rādītāja ieviešana daudzāģentu sistēmā

Jauns efektivitātes rādītājs varētu būt energoefektivitāte, taču, pievienojot Transportēšanas aģentu, tiek sagaidīts produktīvs ražošanas laiks – tīrā ražošanas laika atkarība no galīgā ražošanas laika (ražošanas laiks un transportēšanas laiks).

Saņemot rezultātu, var analizēt kopējo iekārtu efektivitāti. Kopējā iekārtu efektivitāte (*OEE, Overall Equipment Efficiency*) ir zelta standarts ražošanas produktivitātes mērīšanai. Tas nosaka ražošanas laika procentuālo lielumu, kas ir patiesi produktīvs. 100% *OEE* rādītājs nozīmē (4.2), ka tiek saražota tikai derīga produkcija (100% kvalitāte), cik ātri vien iespējams (100% veikspēja), bez pārtraukumiem (100% pieejamība) [81].

$$EE = A * P * Q, \quad (4.2)$$

kur A – pieejamība,
 P – veikspēja,
 Q – kvalitāte.

OEE ir faktiskās izlaides rādītājs, kas iegūts ar iekārtu, salīdzinot ar maksimālo jaudu, ko tajā pašā laika posmā var sagaidīt no šīs iekārtas. *OEE* ir standarta metrika, ko izmanto, lai novērtētu ražošanas veikspēju, ar plašu skatu uz visiem ražošanas aspektiem (4.1. tab.). Izmantojot šos trīs faktoros, *OEE* nodrošina ražotājam vislabāko iekārtu izmantošanas rādītāju un palīdz koncentrēties uz uzlabojumiem, kas vistiešāk ietekmē viņu peļņu. Kā daļa no LEAN ražošanas instrumentu komplekta, *OEE* to dara, identificējot un izslēdzot visus liekos elementus no ražošanas procesiem.

4.1. tabula

Izrēķinātā *OEE* rādītāja rezultāta apraksts

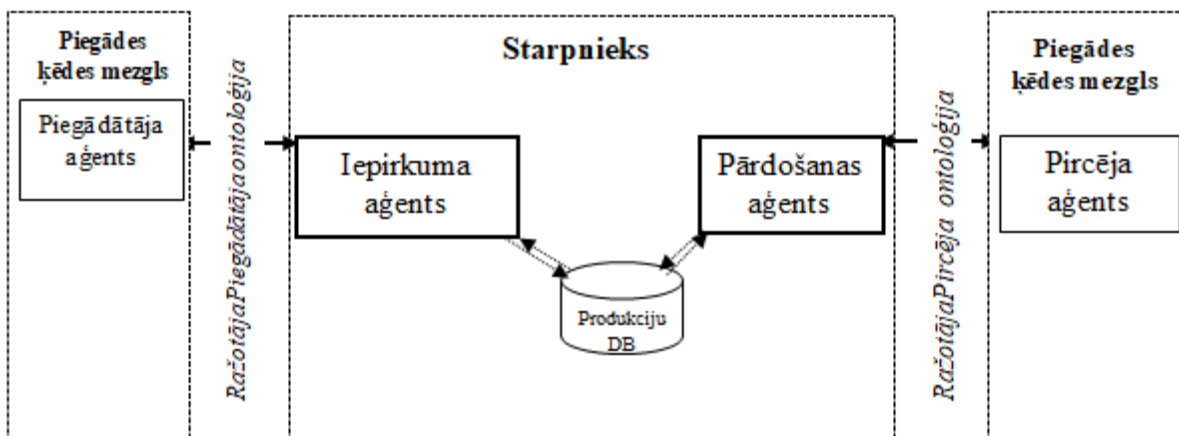
OEE rādītāja rezultāts	OEE rādītāja rezultāta apraksts
85%	<i>OEE</i> rādītājs tiek uzskatīts par pasaules klasi diskrētiem ražotājiem. Daudziem uzņēmumiem tas ir uzstādīts kā ilgtermiņa mērķis.
60%	<i>OEE</i> rādītājs ir raksturīgs diskrētiem ražotājiem, taču tas norāda, ka ir iespējams veikt daudz uzlabojumu.
40%	<i>OEE</i> rādītājs nav nekas neparasts ražošanas uzņēmumiem, kuri tikai sāk izsekot un uzlabot savus ražošanas rādītājus. Tas ir zems vērtējums, un vairumā gadījumu to var viegli uzlabot, izmantojot vienkāršus pasākumus [94].

Nepārtraukta un uzskatāma *OEE* uzraudzība un ziņošana par to nodrošina optimālu darbības efektivitāti. Ieviešot to galvenajās ražošanas iekārtās, visi ražošanas organizācijas līmeņi varēs labāk kontrolēt ikdienas vadību un uzlabot rūpnīcas aktīvu izmantošanu; tas ietaupīs uzņēmuma naudu, vienlaikus palielinot produkcijas izlaidi [18].

Transportēšanas laiks nosaka, cik daudz laika tiek patērēts uz izejvielu transportēšanu no vienas iekārtas uz otru, un šis laiks ar Transportēšanas aģenta palīdzību var tikt samazināts. Turklāt šis transportēšanas laiks var signalizēt par iekārtu pārvietošanas nepieciešamību, lai samazinātu transportēšanas laiku.

4.3. Aģenta izņemšana no daudzāģentu sistēmas

Gadījumā, ja nav nepieciešams kāds no aģentiem, to no daudzāģentu sistēmas var izņemt. Piemēram, ja daudzāģentu sistēmu lieto starpnieks: viņš nopērk precī, izmaina cenu un pārdod tālāk. Šajā gadījumā viņam nav nepieciešama ražošana un krājumu vadība (4.7. att.)



4.7. att. Daudzaģentu sistēmas lietošana starpnieka gadījumā.

Tātad, Iepirkuma un Pārdošanas aģentu darbībām daudzāģentu sistēmā ir nepieciešami dati, kas apkopoti 4.2. tabulā.

4.2. tabula

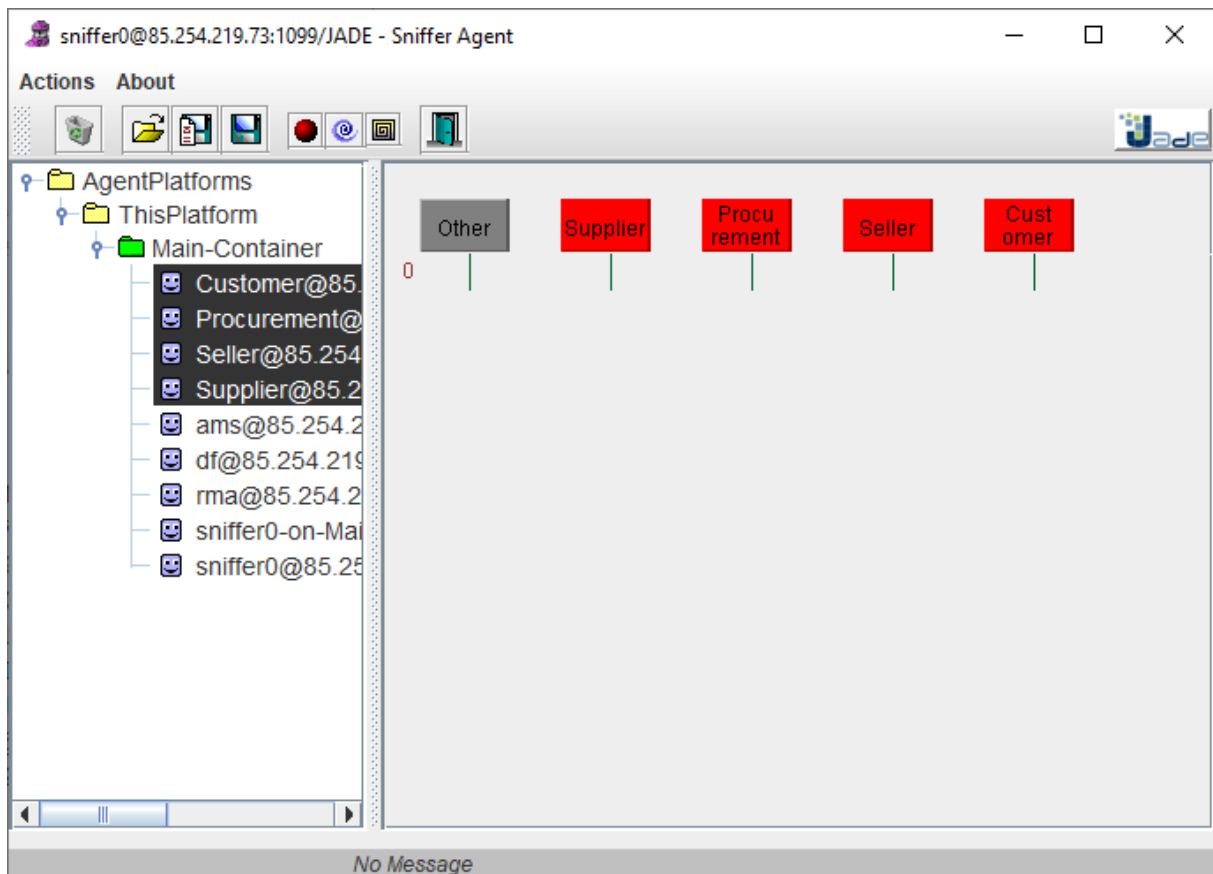
Daudzaģentu sistēmas prasības

Aģents	Prasības
Iepirkuma aģents	Pieklūve izejvielu datu bāzei
	Piegādātāju saraksts
Pārdošanas aģents	Pircēju saraksts
	Pieklūve gatavās produkcijas datu bāzei

Saskaņā ar 4.2. tabulu, ir piedāvāts izmantot divus aģentus, kas aptver visas starpnieka piegādes ķēdes vadības funkcijas:

1. Iepirkuma aģents ir atbildīgs par piegādātāju izvēli un saziņu ar tiem;
2. Pārdošanas aģents ir atbildīgs par klientu pasūtījumu saņemšanu un saziņu ar klientiem (sk. 4.7. att.).

Ja nepieciešamības pēc noliktavām un uzņēmums strādā bez tām, tad *JADE* daudzāģentu sistēma izskatās šādi, sk. 4.8. att.



4.8. att. Daudzaģentu sistēmas izskats *JADE* programmatūrā pēc Ražošanas un Krājumu vadības aģentu izslēgšanas.

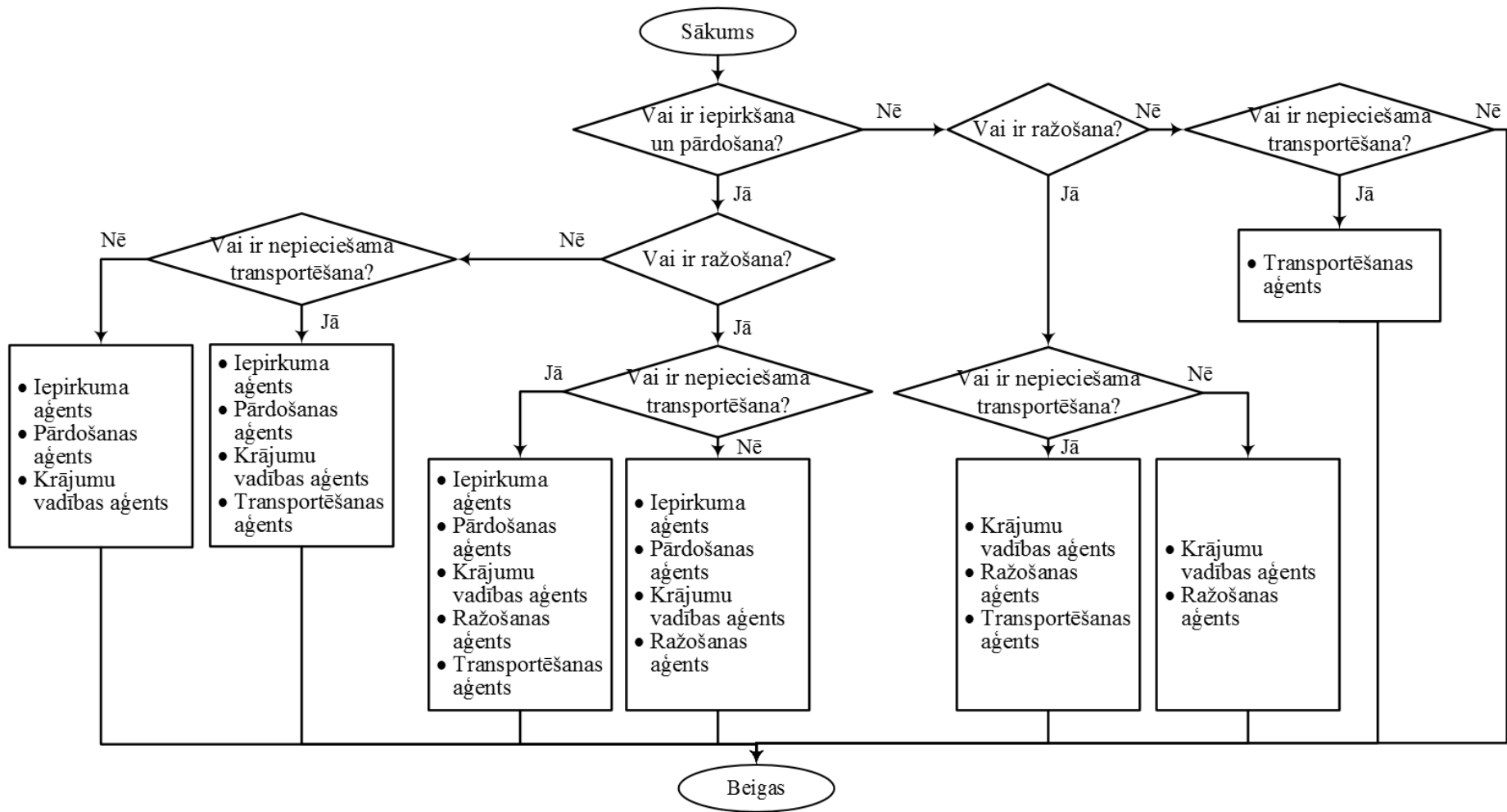
Ja tomēr ir nepieciešamība pilnveidot sistēmu ar krājumu vadību vai situācijās, kurās tiek izmantotas noliktavas, ir jāizmanto arī krājumu vadība, kas tiek realizēta ar Krājumu vadības aģenta palīdzību.

4.4. Izstrādātās daudzģentu sistēmas lietošanas apraksts

Izstrādātā daudzģentu sistēma sastāv no pieciem aģentiem katrā piegādes ķēdes mezglā. Augstāk tika aprakstīts, kā pievienot jaunu aģentu vai izņemt aģentu, ja tas ir nepieciešams, un tālāk tiks aprakstīta daudzģentu sistēmas lietošana.

Pirms daudzģentu sistēmas katra jauna gadījuma lietošanas sākuma ir jāveic pieci daudzģentu sistēmas pielāgošanas soļi.

1. Atkarībā no pētāmā uzņēmuma darbības sfēras, nepieciešams definēt nepieciešamo aģentu skaitu, to var izdarīt uzņēmuma darbinieks, izpildot nepieciešamā aģentu skaita noteikšanas procedūru (sk. 4.9. att.):
 - ja uzņēmums ir starpnieks, ir nepieciešami šādi aģenti: Iepirkuma aģents piegādātāju izpētei un izvēlei; Pārdošanas aģents tirdzniecības procesa organizēšanai; Krājumu vadības aģents krājumu samazināšanai.



4.9. att. Nepieciešamā aģentu skaita noteikšanas procedūra.

- ja uzņēmums veic ražošanu vai montāžu, tad ir jāizmanto arī Ražošanas aģents.
 - ja uzņēmumam ir pārvadājumi un jāatrod ātrākais ceļš no vienas vietas uz otru, tad ir jāizmanto arī Transportēšanas aģents.
2. Tiek palaista lietotāja saskarne; ja nav ražošanas vai montāžas, jāpievieno piekļuve izejvielu un gatavās produkcijas datiem un iepriekšējās pārdošanas datiem. Pretējā gadījumā ir nepieciešams ievadīt arī individuālā gadījuma ražošanas procesa aprakstu, pamatojoties uz piedāvāto struktūru, sk. 3.21. att.
 3. Nākamais solis ir *JADE* izpilde. Rezultātā tiks atspoguļoti visi izvēlēti aģenti.
 4. Pēc daudzāģentu sistēmas palaišanas Krājumu vadības aģents veic pirmo darbību, lai definētu esošo situāciju, noteiktu prioritātes un analizētu krājumus.
 5. Pēc tam pārējie aģenti sāk darbību atbilstoši saviem mērķiem un uzvedībām.

Katram jaunajam gadījumam Transportēšanas aģenta logā ir jāievada attālumi starp ražošanas iekārtām, kas aizņem aptuveni 22 sekundes katra attāluma ievadīšanai. Saskarnes aizpildīšanas laiks ar ražošanas informāciju ir atkarīgs no ražošanas iekārtu, darbinieku, nepieciešamu izejvielu un produkcijas daudzuma, ka arī no pieredzes datu ievadīšanā. Sākumā uz vienas produkcijas ievadīšanu tiek patērēts vidēji 50 sekundes, ar katru reizi šis laiks pazeminās līdz vidēji 38 sekundes datu ievadīšanai un pārbaudei. Aģentu darbība ir definēta izstrādes laikā un katrā jaunajā gadījumā netiek mainīta, ja netiek prasīts izmantot konkrētā uzņēmuma darbības algoritmu.

Nākamajā nodaļā tiks parādīts izstrādātās daudzāģentu sistēmas lietošanas piemērs uz reāla uzņēmuma datiem.

4.5. Nodaļas apkopojums un secinājumi

Šī nodaļa ir veltīta izstrādātās daudzāģentu sistēmas attīstīšanai, ja sistēmas lietotājiem šāda nepieciešamība radīsies. Tika apskatīta situācija, kad visi izstrādātie aģenti nepārklāj esošo uzdevumu, piemēram, nebija apskatīta transportēšana. Jauna aģenta ieviešana izstrādātajā daudzāģentu sistēmā ir diezgan vienkārša.

Nodaļā apskatīta arī pretējā situācija, kad nav nepieciešami visi izstrādātie aģenti, piemēram, uzņēmumam, kas neražo, bet iepērk un pārdod. Aģentu izņemšana no daudzāģentu sistēmas nerādīja papildus darbu sistēmas lietotājiem.

Šīs nodaļas beigās ir piedāvāts lietošanas apraksts, kā lietot izstrādāto daudzāģentu sistēmu. Individuālais piemērs tiks parādīts nākamajā nodaļā, bet šajā nodaļā var secināt kā šo izstrādāto daudzāģentu sistēmu var pilnveidot un attīstīt jebkurā laikā momentā pēc nepieciešamības, nevis katram jaunam lietojumam izstrādāt jaunu daudzāģentu sistēmu.

Izstrādāto daudzāģentu sistēmu var pilnveidot ar jaunu funkcionalitāti, pievienojot jaunu aģentu vai efektivitātes rādītāju, vai otrādi: izņemt aģentu no daudzāģentu sistēmas, ja šāda nepieciešamība radīsies.

Nākamais solis ir izstrādātās daudzāģentu sistēmas aprobācija uz reālā uzņēmuma datiem un tās lietošanas efektivitātes novērtēšana.

5. IZSTRĀDĀTĀS DAUDZĀĢENTU SISTĒMAS IZMANTOTOŠANA

Nodaļā aprakstīta izstrādātās daudzāģentu sistēmas lietošana piegādes ķēdes vadībai. Sākumā tiek apskatīts ražošanas uzņēmums, tā ražošanas specifika, pieejamie dati un uzņēmumā eksistējošās situācijas analīze. Tālāk tiek parādīta daudzāģentu sistēmas izveidošana attiecīgi aprakstītajai pieejai. Nodaļā tiek apskatīta arī katra atsevišķā aģenta darbība, kā arī to mijiedarbība un daudzāģentu sistēmas lietošana laikā no viena līdz trim mēnešiem, analizējot iegūtos rezultātus un rezultātus, kas saņemti par cilvēka darbību. Nodaļas beigās veikts daudzāģentu sistēmas izmantošanas efektivitātes novērtējums pēc definētiem efektivitātes kritērijiem.

5.1. Izstrādātās daudzāģentu sistēmas aprobācija ražošanas uzņēmumā

5.1.1. Uzņēmuma problēmas nostādne un datu specifikācija

Šī izstrādātā sistēma lietota ražošanas uzņēmumā, kas nodarbojas ar mikroshēmu ražošanu un to tālāku pārdošanu. Šim pētījumam ir pieejami dati par ražošanas specifiku un tehnoloģiju, kā arī pārdošanas, iepirkšanas un ražošanas apjomu dati.

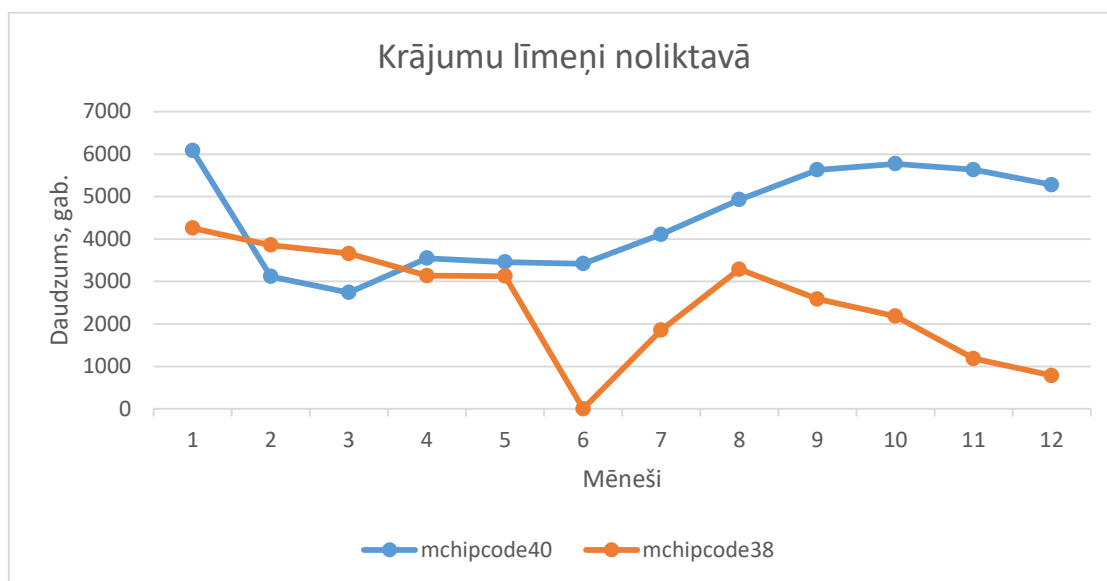
Ražošanas procesa specifika ir šāda: mikroshēmas tiek saražotas, izmantojot atbilstošu aprīkojumu un personāla darbu; visus produktus var iedalīt vairākās grupās pēc vienas un tās pašas ražošanas veidnes. Katrā ražošanas veidnē tiek izmantots viens un tas pats aprīkojums un personāls. Tas nozīmē, ka dažāda veida mikroshēmas var gaidīt vienā rindā, lai tās saražotu, izmantojot vienu un to pašu aprīkojumu. Tāpēc viens no galvenajiem jautājumiem ir atrast produkcijas ražošanas secību, lai samazinātu gaidīšanas laiku un kopējo ražošanas laiku.

Pētījuma sākumā ražošana notika režīmā – ražot noliktavai, šādi palielinot krājumus un krājumu uzglabāšanas izmaksas. Savukārt pasūtījums var būt arī produkcijai, kas nav piejama noliktavā, piemēram, jaunai produkcijai vai produkcijai, kas nav pieprasīta jau ilgāku laiku. Ražotāja produkcija ir specifiska, līdz ar to pircējs ir gatavs gaidīt savu pasūtījumu un pasūtījuma sagatavošana piegādei notiek vidēji viena mēneša laikā. Ražošanas kapacitāte neļauj laikus (vidēji viena mēneša laikā) saražot visu produkciju pieprasītajos daudzumos, t.i., ražot pēc pieprasījuma, tātad krājumi ir nepieciešami, taču ir tie jāparvalda un iekļaujot arī pieprasījumu prognozēšanu.

5.1.2. Eksistējošās situācijas analīze

Analizētais uzņēmums nodarbojas ar mikroshēmu ražošanu un to tālāku realizāciju. Mikroshēmu montāžai ir nepieciešamas izejvielas, tāpēc ir izejvielu noliktava un gatavo preču noliktava ar krājumiem. Pētījuma rezultātā [58] tika atklāts, ka tikai 8% no uzņēmumiem ir krājumu vadībā apmācīts personāls. Uzņēmuma krājumu vadība ir empīriskā, cenšoties nodrošināt drošības krājumus, lai apmierinātu pieprasījumu.

Analizējot iepriekšējā gada mikroshēmu daudzumu svārstības noliktavā, tika atklāts, ka ir dažas preces, kuru saražotais daudzums pārsniedza pārdoto. Vēl viens secinājums no analizētajiem datiem ir tāds, ka dažas preces iepriekšējā gadā netika pārdotas vispār; tikmēr to krājumu līmenis ir pieaudzis ražošanas pasūtījumu dēļ vai otrādi, tika samazināts to norakstīšanas dēļ. Drošības krājumi ir pārāk augsti precēm, kuru daudzums ikmēneša pārdošanas apjomos ir mazāks nekā to drošības krājumi (sk. 5.1. att.). Turklāt tika atklāts, ka produkcijas krājumu līmenis samazinājies līdz nullei, kas nozīmē situāciju ar deficītu. Tāpēc šim uzņēmumam ir ļoti nepieciešama krājumu vadība.



5.1. att. Produkcijas krājumu līmeņi.

Krājumu līmenis ir atkarīgs no pieprasījuma un pasūtījumu izpildes. Lai minimizētu krājumu līmeni un lai izvairītos no situācijām, kad nav krājumu, ir jāizmanto papildināšanas politika. Ir izplatīta prakse, ka krājumu pasūtījumu līmeņi tiek balstīti uz vidējo pieprasījumu, nevis uz pieprasījuma prognozēšanu, kas var novest pie pārmērīgiem krājumiem.

Savukārt izejvielu iepirkums tiek veikts reizi gadā; izejvielu izmēra dēļ ir zemas krājumu uzglabāšanas izmaksas.

5.1.3. Pieejamo izejvielu datu specifikācija

Ražošanas produkcijas apjoms, kam fiksēti pārdošanas apjomi pētījuma gadā ir 56 gab., citās 73 pozīcijās ir senāki izstrādājumi, kas atrodas gatavo preču noliktavā un, iespējams, nekad netiks izpirkti vecu ražošanas datu dēļ, vai arī šī produkcija tika saražota pētniecības vajadzībām; savukārt izejvielu daudzums ir 27 gab.

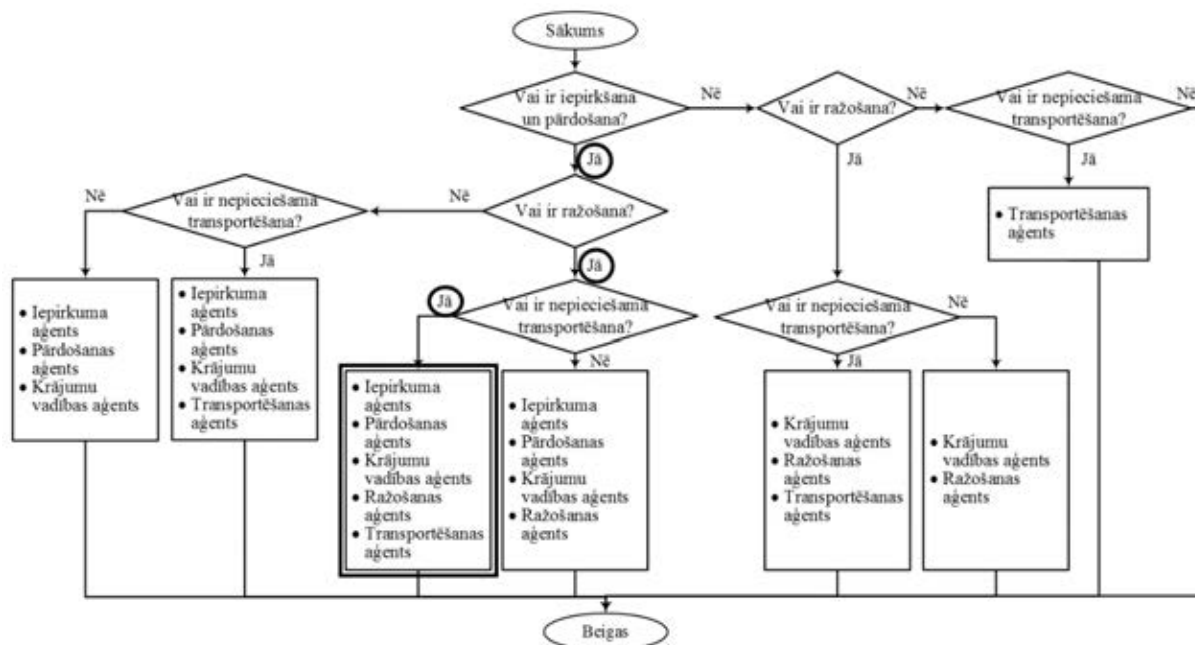
Pētījumam ir pieejami dati par 17 mēnešiem, 14 mēnešu dati tiek izmantoti analīzei, pēdējo trīs mēnešu dati ir rezervēti izstrādātās sistēmas veikspējas pārbaudei.

Ražošanas process ir pilnībā aprakstīts, to var izmantot daudzāģentu sistēmas izveidei. Aprakstīts ir arī ražošanai nepieciešamais aprīkojums un atbilstošais personāls. Sākotnējie dati par izejvielu daudzumu un produktu krājumu līmeni ir jāiekļauj sistēmā. Tiek sniegti arī

dati par iepriekšējiem pārdošanas apjomiem, kas nepieciešami analīzei, tie, kā arī iepriekš minētā informācija ir jāievada daudzāģentu sistēmā.

5.1.4. Daudzāģentu sistēmas izveidošana, balstoties uz piedāvāto lietošanas aprakstu

Izstrādātās pieejas lietošanas aprakstā (sk. 4.4. apakšnodaļu) pirmais solis ir nepieciešamo aģentu noteikšana. Izejot cauri piedāvātai aģentu daudzuma noteikšanas procedūrai (4.9. att.), tika definēts, ka ir nepieciešami šādi aģenti: Iepirkuma; Krājumu vadības; Ražošanas; Pārdošanas; Transportēšanas (5.2. att.).



5.2. att. Aģentu daudzuma izvēle atbilstoši uzņēmuma vajadzībām.

Izstrādātā lietotāja saskarne ļauj ievadīt pieejamo informāciju daudzāģentu sistēmā, lai veiktu turpmāko analīzi un strādātu ar to. Pirmkārt, lietotāja saskarne ir jāaizpilda ar ražošanas procesa datiem (sk. 5.3. att.).

Ir jāieraksta lietotāja saskarnē ražošanas specifiskus datus: katram ražojumam jāuzraksta vienas partijas daudzums, ražošanas šablons, ja tāds ir, visas operācijas, kas ir nepieciešamas lai saražotu preci: operācijas nosaukums, ilgums, nepieciešamā ierīce, ierīces ietilpība, nepieciešamais personāls, ka arī nepieciešamas izejvielas un to daudzums.

Šis darbs tiek izdarīts vienu reizi pirms daudzāģentu sistēmas pirmās palaišanas un neaizņem daudz laika. Saskarnes aizpildīšanas laiks ir atkarīgs no ražošanas iekārtu, darbinieku, nepieciešamu izejvielu un produkcijas daudzuma, ka arī no pieredzes datu ievadīšanā. Sākumā uz vienas produkcijas ievadīšanu tiek patērēts vidēji 50 sekundes, ar katru reizi šis laiks pazeminās līdz vidēji 38 sekundes datu ievadīšanai un pārbaudei.

Gadījumā ja tiek ieviesta jauna prece, tad lietotāja saskarnē ir jāievada vēl viena pozīcija, nevis jāieraksta no jauna par katru preci.

Design Preview [Interface]

File

Production process

Product: MChip1

Batch max quantity: 1000

Production template: PT1

Operation: Operation1

Duration of operation: 2

Equipment needed: Equipment1

Capacity of equipment: 10000

Personnel required: Person1

Raw material needed: RawMaterial1

Quantity of raw material: 1100

Raw material data base

Products data base

Data on previous sale

5.3. att. Lietotāja saskarnes aizpildīšana.

Otrkārt, lietotāja saskarnē ir jāpievieno dati par iepriekšējiem pārdošanas apjomiem atbilstošajā formā (5.1. tab.).

5.1. tabula

Iepriekšējo pārdošanas apjomu dati (fragments).

Produkcija	1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	2001	2002
MChip1	308	100	0	0	179	0	0	50	300	329	186	0	349	220
MChip2	0	2962	0	0	372	0	0	0	36	0	0	0	0	0
MChip3	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MChip4	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MChip5	4	0	0	0	0	0	15	0	25	2	2	0	46	0
MChip6	0	600	3132	0	653	0	0	0	0	2369	0	0	25	0
MChip7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0
MChip8	0	0	636	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MChip9	0	0	1200	159	15	0	0	0	0	400	0	0	25	0
MChip10	0	602	0	517	3126	0	1000	0	0	1000	0	0	400	200
MChip11	0	798	0	268	452	600	2128	400	324	1376	800	0	1240	0
MChip12	7010	11382	0	10806	2000	5050	18535	6306	12148	10535	15070	0	17789	10084
...														
MChip56	0	0	0	0	0	0	0	0	76	0	48	0	0	0

Treškārt, jāpievieno gatavās produkcijas krājumu līmenis (5.2. tab) sistēmā, 5.2. att. parādīts, kā tiek izveidots individuālais gadījums ar pieciem aģentiem mezglā un daudzāģentu sistēma tiek izveidota.

5.2. tabula

Krājumu daudzums pētījuma sākotnējā punktā

Produkcija	Daudzums	Produkcija	Daudzums	Produkcija	Daudzums
MChip1	0	MChip20	1372	MChip39	134
MChip2	5774	MChip21	4948	MChip40	11
MChip3	213	MChip22	12406	MChip41	527
MChip4	104	MChip23	666	MChip42	508
MChip5	175	MChip24	2776	MChip43	13472
MChip6	3016	MChip25	2202	MChip44	1758
MChip7	450	MChip26	101	MChip45	1339
MChip8	0	MChip27	3102	MChip46	354
MChip9	5605	MChip28	370	MChip47	5671
MChip10	3355	MChip29	15500	MChip48	5039
MChip11	1325	MChip30	9354	MChip49	1446
MChip12	20722	MChip31	350	MChip50	4
MChip13	2491	MChip32	1787	MChip51	14
MChip14	2112	MChip33	4631	MChip52	0
MChip15	437	MChip34	3404	MChip53	753
MChip16	337	MChip35	2488	MChip54	131
MChip17	6627	MChip36	0	MChip55	860
MChip18	3634	MChip37	2730	MChip56	125
MChip19	15	MChip38	581	KOPĀ:	157306

Daļa no nākamā mēneša pieprasījuma ir zināma – produktu pasūtījumu saraksts tiek saņemts katra mēneša pirmajās dienās, un pasūtītais jānosūta piegādei viena mēneša laikā.

Pieprasījuma dati par pirmo pētījumu mēnesi (martu) ir atspoguļoti 5.3. tabulā. Tas ir daudzāģentu sistēmas sākumpunkts.

5.3. tabula

Pieprasījums pētījuma pirmajam mēnesim

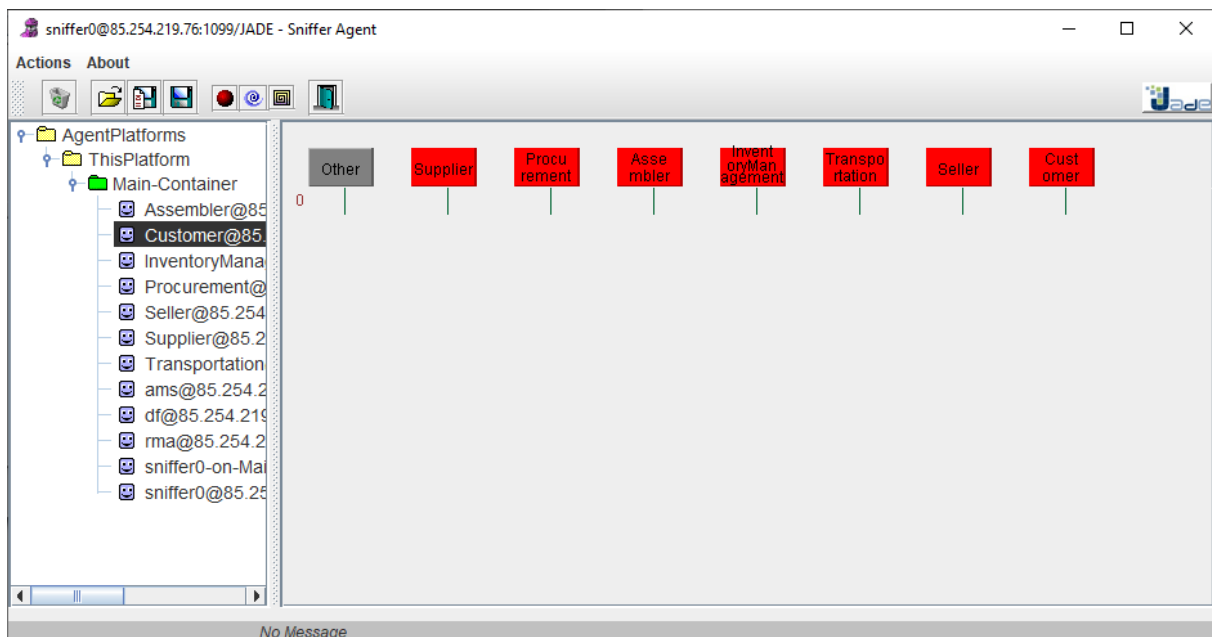
Produkcija	Pieprasījuma daudzums	Produkcija	Pieprasījuma daudzums
MChip2	139	MChip30	320
MChip5	200	MChip32	100
MChip6	5388	MChip36	610
MChip11	1800	MChip41	100
MChip12	8044	MChip45	100
MChip14	6944	MChip47	2800
MChip17	10000	MChip52	1500
MChip21	100	MChip54	100
MChip24	550	KOPĀ:	38795

Var gadīties arī jaunu klientu vai negaidīti pieprasījumi. Ražošanas procesu specifika un ražošanas laiks neļauj strādāt pēc pasūtījuma, tāpēc ražošanas pasūtījumi jāveic atbilstoši prognozētajam pieprasījumam nākotnē.

Šie pieprasījuma dati nozīmē, ka mēneša laikā jānosūta šāda tipa produkcija noteiktajā daudzumā. Ja noliktavā ir nepietiekošs daudzums, tad jāizveido ražošanas pasūtījums. Mēneša laikā var arī ienākt citi pasūtījumi no tā paša klienta vai citiem.

5.2. Daudzaģentu sistēmas darbības realizācija un analīze

Izveidota daudzāģentu sistēma, balstoties uz lietošanas aprakstu, ar visiem aģentiem *JADE* logā izskatās šādi (5.4. att.).



5.4. att. Daudzaģentu sistēma ražošanas uzņēmumam.

Pirms daudzāģentu sistēmas palaišanas, ņemot vērā, ka pasūtījuma sagatavošana notiek mēneša laikā, ir piedāvāts saskaitīt gatavo produkciju ar produkciju daudzumu ražošanā, un šo summu (5.4. tab.) izmantot tālāk daudzāģentu sistēmā kā sākotnējo punktu noliktavas aprakstā.

Daudzaģentu sistēmas darbībai tika izmantoti 5.4. tabulas rezultāti kā sākumdati, jo bez Ražošanas aģenta pasūtījumiem, gatavās produkcijas noliktava tiks papildināta ar iepriekšējā mēneša klientu pasūtījumiem.

Tas tiek izdarīts tikai vienu reizi – daudzāģentu sistēmas darbības sākumā, lai nerastos lieki krājumi, kas tiek saražoti uz daudzāģentu sistēmas pielāgošanas brīdi.

5.4. tabula

Gatavās produkcijas un ražošanā esošās produkcijas saskaitīšanas rezultāts

Produkcija	Daudzums	Produkcija	Daudzums	Produkcija	Daudzums
MChip1	69	MChip20	1372	MChip39	134
MChip2	5915	MChip21	4948	MChip40	11
MChip3	213	MChip22	12406	MChip41	527
MChip4	104	MChip23	666	MChip42	508
MChip5	212	MChip24	2776	MChip43	13472
MChip6	5478	MChip25	2202	MChip44	1758
MChip7	450	MChip26	101	MChip45	1339
MChip8	0	MChip27	3102	MChip46	354
MChip9	5605	MChip28	370	MChip47	5671
MChip10	3940	MChip29	15500	MChip48	5039
MChip11	2125	MChip30	9354	MChip49	1446
MChip12	20722	MChip31	350	MChip50	4
MChip13	2491	MChip32	1787	MChip51	14
MChip14	7004	MChip33	4631	MChip52	907
MChip15	437	MChip34	3404	MChip53	753
MChip16	337	MChip35	2488	MChip54	131
MChip17	10375	MChip36	1456	MChip55	860
MChip18	3634	MChip37	2730	MChip56	125
MChip19	15	MChip38	581	KOPĀ:	172403

5.2.1. Krājumu vadības aģenta lietošana

Pirmā Krājumu vadības aģenta izpilde ABC analīzē atklāja, ka 11 produkti (20 %) veido 72 % no kopējās peļņas. ABC analīzes rezultāti ir atspoguļoti 5.5. tabulā.

Pirmie 20 % formulē A klasi un ir viskritiskākie. Šīm precēm nepieciešama stingra krājumu kontrole, bieža pieprasījuma prognožu un izmantošanas likmju pārskatīšana, ļoti precīzi partiju dati un bieža ciklu uzskaitē; šo produktu daudzumi ir rūpīgi jākontrolē (5.6. tab.).

5.5. tabula

Pirmie ABC analīzes rezultāti pēc daudzāģentu sistēmas palaišanas (fragments)

Produkcija	Summa, €	% no kop.	Kum, %	Rangs	ABC analīzes rezultāts
MChip17	253392,65	17,27	17,27	1	A
MChip22	194404,77	13,25	30,52	2	A
MChip12	129759,02	8,84	39,36	3	A
MChip2	84182,60	5,74	45,1	4	A
MChip6	81483,58	5,55	50,65	5	A
MChip1	61195,88	4,17	54,82	6	A
MChip47	61095,60	4,16	58,98	7	A
MChip14	55038,05	3,75	62,74	8	A
MChip53	47464,02	3,23	65,97	9	A
MChip54	45716,55	3,12	69,09	10	A
MChip38	38547,66	2,63	71,72	11	A
MChip37	37556,40	2,56	74,28	12	B
MChip43	37555,20	2,56	76,84	13	B
MChip21	35632,95	2,43	79,26	14	B
MChip36	35224,00	2,40	81,66	15	B
MChip49	29413,44	2,00	83,67	16	B
MChip29	26137,16	1,78	85,45	17	B
MChip52	24333,12	1,66	87,11	18	B
MChip41	20048,14	1,37	88,48	19	B
MChip5	15975,30	1,09	89,56	20	B
...					
MChip39	0	0	100,00	56	C

Nākamie 30 % produktu nes 15 % pārdošanas ieņēmumu un pieder B klasei. Šīm precēm nepieciešama obligāta krājumu kontrole, neregulāra pieprasījuma prognožu un izmantošanas likmju pārskatīšana, saprātīgi precīzi dati par detaļām un retāka, bet regulāra ciklu skaitīšana, kā arī tie būtu rūpīgi jākontrolē, jo tie var kļūt par A klases produktiem.

5.6. tabula

A klases produkcijas krājumu daudzums

Produkcija	Daudzums noliktavā	Daudzums ražošanā	KOPĀ
MChip17	6627	3748	10375
MChip22	12406	0	12406
MChip12	20722	0	20722
MChip2	5774	141	5915
MChip6	3016	2462	5478
MChip1	0	69	69
MChip47	5671	0	5671
MChip14	2112	4892	7004
MChip53	753	0	753
MChip54	131	0	131
MChip38	581	0	581

Gandrīz puse no produkcijas nes tikai 5 % pārdošanas ieņēmumu un pieder C klasei. Šiem produktiem ir vismazākā ietekme uz noliktavas darbību un finanšu rādītājiem, tāpēc tiem nepieciešama minimāla krājumu kontrole.

Pēc ABC analīzes Krājumu vadības aģents aprēķina produktu pieprasījumu nākotnē, drošības krājumus un pasūtīšanas punktu. Kā redzams 5.7. tabulā, ir divas pozīcijas, kas ir zemākas par pasūtījuma punktu un nav pietiekošs daudzums prognozētajam pieprasījumam.

5.7. tabula

Pasūtījumu prognozēšanas, drošības krājumu, pasūtīšanas punktu rezultāti
A klases produkcijai

Produkcija	Kopā	Pieprasījums	Drošības krājumi	Pasūtīšanas punkts
MChip17	10375	1397	1714	3111
MChip22	12406	100	4033	4133
MChip12	20722	9521	9840	19361
MChip2	5915	0	1299	1299
MChip6	5478	0	1642	1642
MChip1	69	194	228	422
MChip47	5671	9297	6388	15685
MChip14	7004	390	2692	3082
MChip53	753	7	692	699
MChip54	131	19	59	78
MChip38	581	480	929	1409

Krājumu vadības aģents atklāja, ka divi A klases produkti nevar apmierināt prognozēto pieprasījumu. A klases produkti nozīmē augstāko prioritātes līmeni, un to krājumam jābūt pietiekamam.

5.2.2. Ražošanas aģenta lietošana

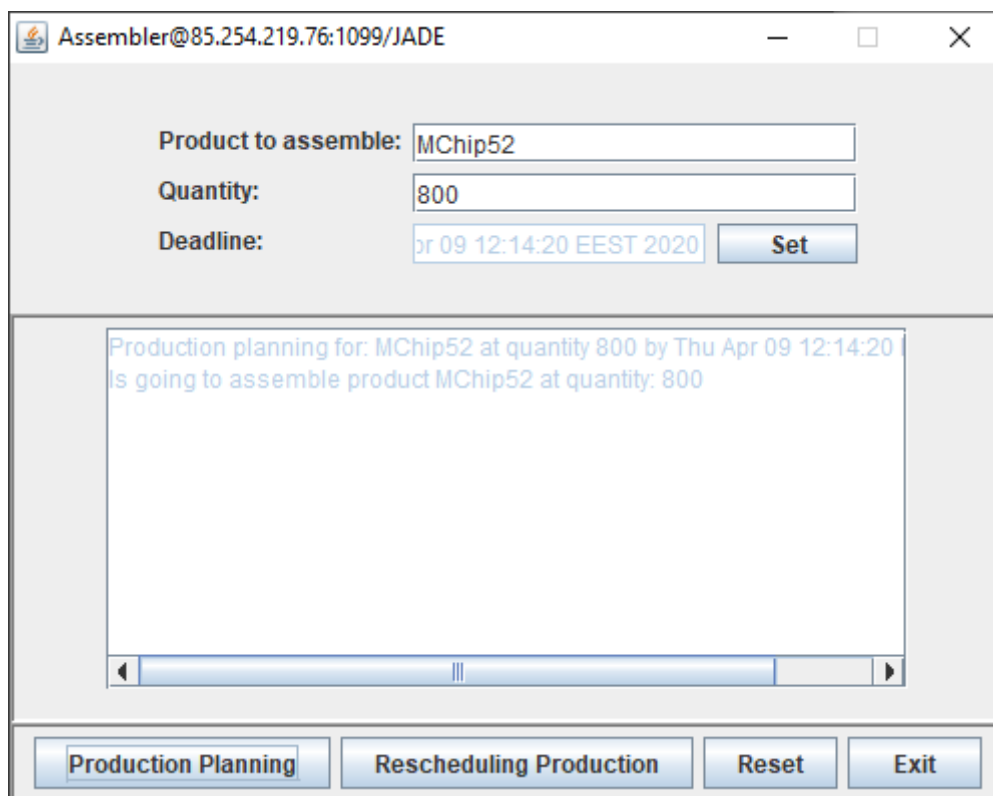
Tika atklātas trīs pozīcijas (5.7. tab.), kas ir zemākas par pasūtīšanas punktu, un divām no šīm trim pozīcijām ir prognozēts nākotnes pieprasījums, kas ir lielāks nekā pieejamie krājumi, kas nozīmē, ka tās ir jāsarāžo.

MChip1 ir 39 ražošanas operācijas, un vienas partijas ierobežojums ir 200 vienības. MChip47 ir 14 ražošanas operācijas, un vienas partijas ierobežojums ir 1000 vienības. MChip47 vienas partijas ražošanas laiks ir 13 dienas.

Rezultātā ražošanas izstrādājumiem ir atšķirīga ražošanas veidne. Četras samontējamas pozīcijas, 14 partijas un 1900 vienības, kas jāizgatavo viena mēneša laikā, MChip52 ražošanas laiks ir 132 stundas, MChip1 – 278 stundas vienam pasūtījumam.

Galvenais jautājums ir: kāda pasūtījumu komplektēšanas secība garantē kopējo ražošanas laika samazināšanu?

Tiek pasūtīts ražošanā MChip52 (5.5. att.), pēc tam tiek pasūtīts MChip1 un rezultātā, daudzāģentu sistēma izvada labāko ražošanas secību, kur kopējais ražošanas laiks tiek samazināts.



5.5. att. Ražošanas pasūtījums.

Gadījumā, kad ražošanā ir viena tipa divi produkti (5.6. att.), tika piedāvāta secība, pie kuras ir sasniegts samazināts kopējais ražošanas laiks.



5.8. att. Pārdošanas un Pircēja aģentu mijiedarbība JADE ietvarā (saīsināts).

5.2.3.2. Pārdošanas aģenta pasūtījuma apstrāde

Pasūtīto produktu krājumu līmenis pirmajā izpētes mēnesī ir atspoguļots 5.8. tabulā. Saņemtajam pasūtījumam jāizmanto pieejamie krājumi un nepabeigtie produkti ražošanā, jo mēneša laikā tie tiks saražoti.

5.8. tabula

Pasūtītās produkcijas krājumu līmenis un pieprasījums

Produkcija	Noliktavā	Ražošanā	Kopā	Pieprasījums
MChip2	5774	141	5915	139
MChip5	175	37	212	200
MChip6	3016	2462	5478	5388
MChip11	1325	800	2125	1800
MChip12	20722	0	20722	8044
MChip14	2112	4892	7004	6944
MChip17	6627	3748	10375	10000
MChip21	4948	0	4948	100
MChip24	2776	0	2776	550
MChip30	9354	0	9354	320
MChip32	1787	0	1787	100
MChip36	0	1456	1456	610
MChip41	527	0	527	100

Produkcija	Noliktavā	Ražošanā	Kopā	Pieprasījums
MChip45	1339	0	1339	100
MChip47	5671	0	5671	2800
MChip52	0	907	907	1500
MChip54	131	0	131	100

Tabulā ir redzams, ka cilvēka darbības rezultātā pieprasījums netiks apmierināts viena mēneša laikā un jāizveido jauns ražošanas pasūtījums.

5.2.3.3. Pārdošanas aģenta darbības rezultāts

Analīze ir parādījusi, ka dažas pozīcijas jau ir ražošanā un ir precīzi pieprasītais daudzums, kas nozīmē, ka šis daudzums ir apspriests iepriekšējā mēnesī.

Ražošanas produktu saraksts pēc Pārdošanas aģenta darbības līdz mēneša beigām sastāv pagaidām no vienas pozīcijas, pārējās pasūtītās pozīcijas ir vai būs pieejamas līdz pētāmā mēneša beigām.

Produkta deficīta daudzums ir jāsarāžo, lai pilnībā izpildītu pieprasījumu. Pārējās ražošanas preces jau atklāja Krājumu vadības aģents (5.9. tab.).

5.9. tabula

Saražojamās produkcijas saraksts

Produkcija	Daudzums noliktavā	Pieprasījums	Jāražo	1 partijas apjoms	Partiju daudzums ražošanai
MChip52	907	1500	800	200	4
MChip1	69	194	125	200	1

Kad Pārdošanas aģents atklājis pasūtīto produktu krājumu trūkumu, Krājumu vadības aģentam vajadzētu prognozēt pieprasījumu nākotnē, lai izpildītu nākamā mēneša pieprasījumu un noteiktu ražošanas secību prioritāti.

5.2.4. Iepirkuma aģenta lietošana

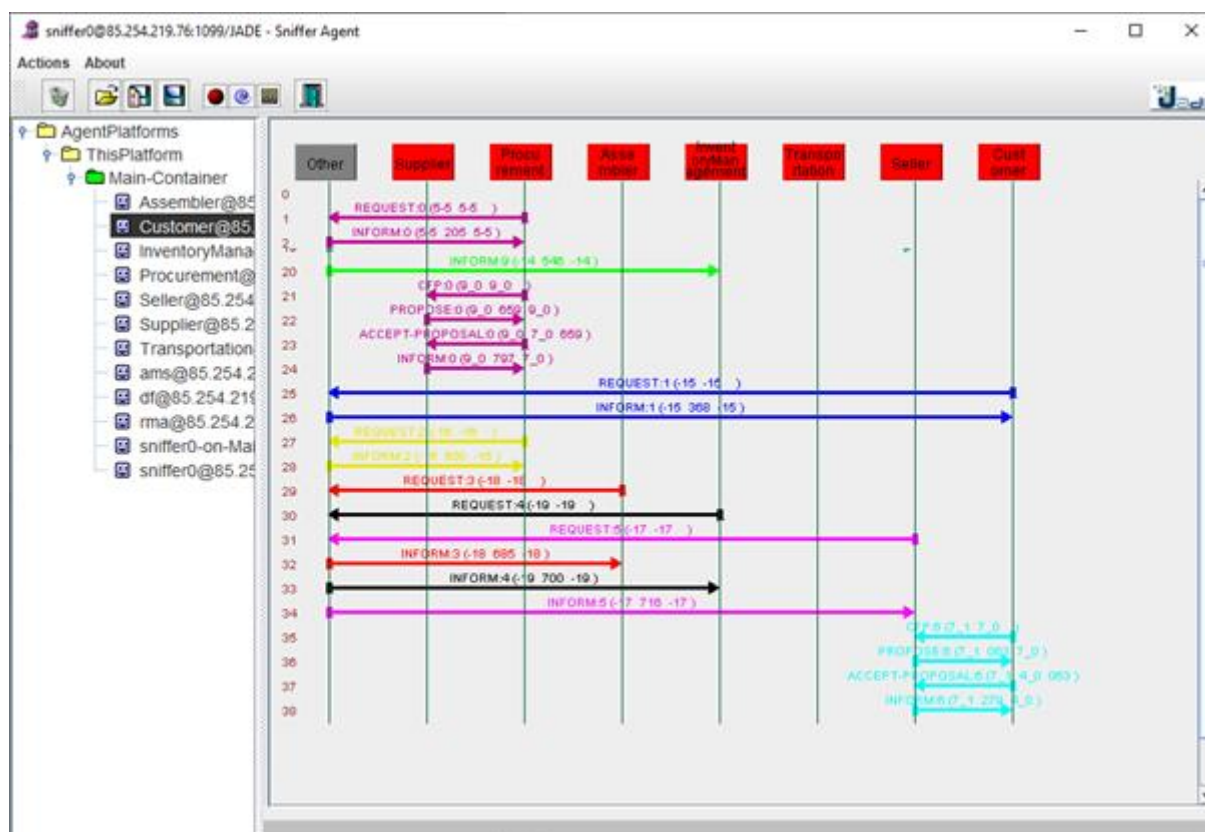
Iepirkuma aģents regulāri veic izejvielu pasūtījumus, un izejvielu izmēra dēļ uzglabāšanas izmaksas ir nenozīmīgas, tādējādi, Iepirkuma aģenta pasūtījumi tiek veikti reizi gadā, piemēram, 5.9. att.

piedāvāja cenas un piegādes laiku, Iepirkuma aģents piekrita nosacījumiem un mijiedarbība veiksmīgi pabeigta.

Iepirkuma aģenta darbības rezultātā ražotāja izejvielu noliktava ir papildināta ar nepieciešamajām izejvielām.

5.2.5. Starpmezglu aģentu mijiedarbība

Aģenti no Piegādātāja un Pircēja uzņēmumiem sazinās ar ražotāja aģentiem – attiecīgi Iepirkuma un Pārdošanas aģentiem. Aģenti strādā neatkarīgi viens no otra, izpildot savus uzdevumus, starpmezglu mijiedarbība ir atspoguļota 5.11. att.



5.11. att. Starpmezglu mijiedarbība JADE ietvarā (saīsināts).

Attēlā ir parādīts, ka aģenti mijiedarbojas ar citu piegādes ķēdes mezglu aģentiem neatkarīgi viens no otra, izpildot savus izstrādes uzdevumus mērķu sasniegšanai.

5.3. Eksperimentu plāns

Tika apskatīts, kā strādā katrs aģents atsevišķi un visi aģenti kopā. Nākamais mērķis ir pārbaudīt, vai daudzģentņu sistēmas lietošanas rezultāti sniegs labākus rezultātus, nekā pastāvošās uzņēmuma sistēmas darbība bez tās. Eksperimentu plāns izstrādātai daudzģentņu sistēmai ir šāds:

- dažādu pircēju pieprasījumu apstrāde;
- izvēle starp dažādiem piegādātājiem;

- daudzāģentu sistēmas darbība pirmā mēneša laikā un tās analīze;
- daudzāģentu sistēmas darbība otrā mēneša laikā un tās analīze;
- daudzāģentu sistēmas darbība trešā mēneša laikā un tās analīze.

Šim pētījumam analīzei tika izmantoti 14 mēnešu dati (prognozēšanai, ABC analīzei), un efektivitāte tika pārbaudīta trīs mēnešiem (pēdējie trīs no 17 mēnešiem, kas ir pieejami pētījumam): cilvēka darbības rezultāti ar tādiem pašiem sākumdatiem ir zināmi, ir jāpārbauda daudzāģentu sistēmas efektivitāte.

Eksperimentu plānā ir arī papildu eksperiments, tā mērķis ir pārbaudīt daudzāģentu sistēmu, ņemot vērā uzņēmuma datus, taču par mazāku laika periodu: deviņi mēneši – analīzei un astoņi mēneši – darbības analīzei.

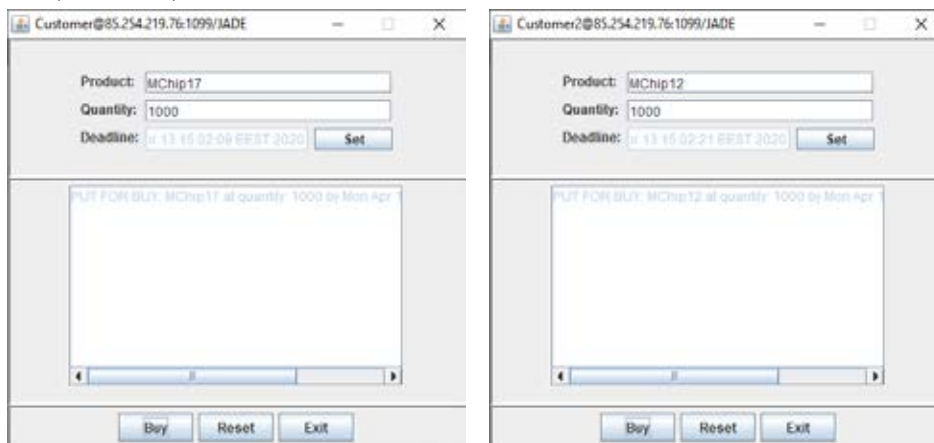
5.3.1. Dažādu pircēju pieprasījumu apstrāde

Šajā eksperimentā tiek apskatīta situācija, kad ražošanas uzņēmumā vienā laika momentā pienāk dažādi pieprasījumi. Uzņēmuma pieredzē pieprasījumi pienāk dažādos laikos vairākas reizes mēnesī, nevis vienā laika momentā. Tomēr tiek apskatīta dažādu pircēju apkalpošana, kas notiek vienlaikus. Attēlā ir sākumsituācija, kad ir septiņi aģenti plus vēl viens pircējs (5.12. att.).



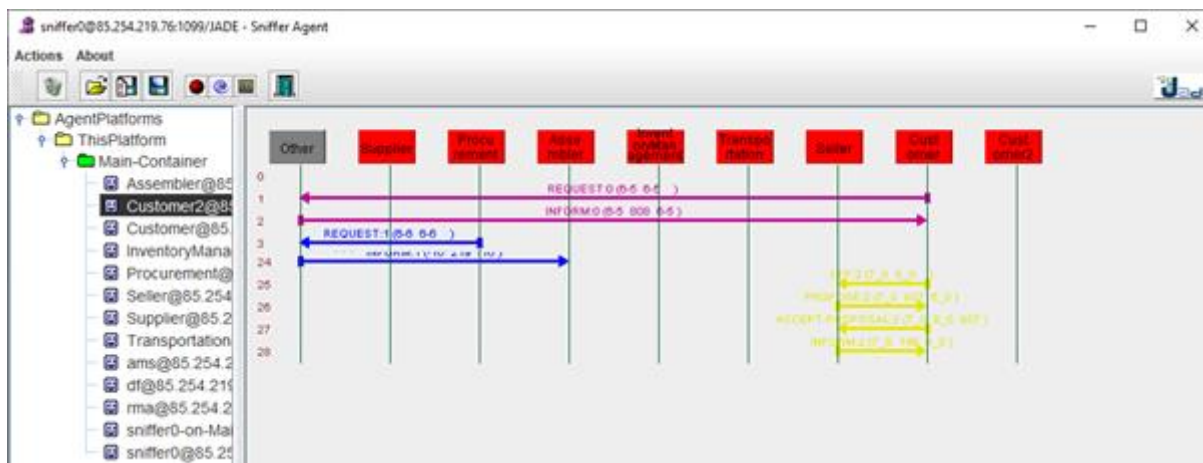
5.12. att. Pirmā eksperimenta sākums.

Dažādu pircēju vienlaicīgas apkalpošanas eksperimentā tika pasūtītās dažādas preces (5.13. att.).



5.13. att. Dažādu pircēju vienlaicīgas apkalpošanas eksperiments.

Ekspierimenta laikā tiek parādīts, ka Pārdošanas aģents spēj ātri reaģēt uz Pircēju1 un Pircēju2 pieprasījumiem (5.14. att., 5.15. att.) – aģents to izdara mazāk nekā vienas minūtes laikā, savukārt cilvēks reaģē uz pasūtījumu līdz 1 darba dienai, atkarībā no darbinieka noslodzes pieprasījumu apstrādes laikā.



5.14. att. Ekspierimenta pirmais rezultāts – pirmā pieprasījuma apstrāde (saīsināts).

Pieprasījumi var atnākt jebkurā laika momentā un aģentam ir jāspēj laikus reaģēt uz tiem, jo servisa līmenis, kas ir izstrādātās daudzāģentu sistēmas efektivitātes rādītājs, ir atkarīgs no izpildītu pasūtījumu daudzuma.



5.15. att. Aģentu mijiedarbība pasūtījuma apstrādes laikā (saīsināts).

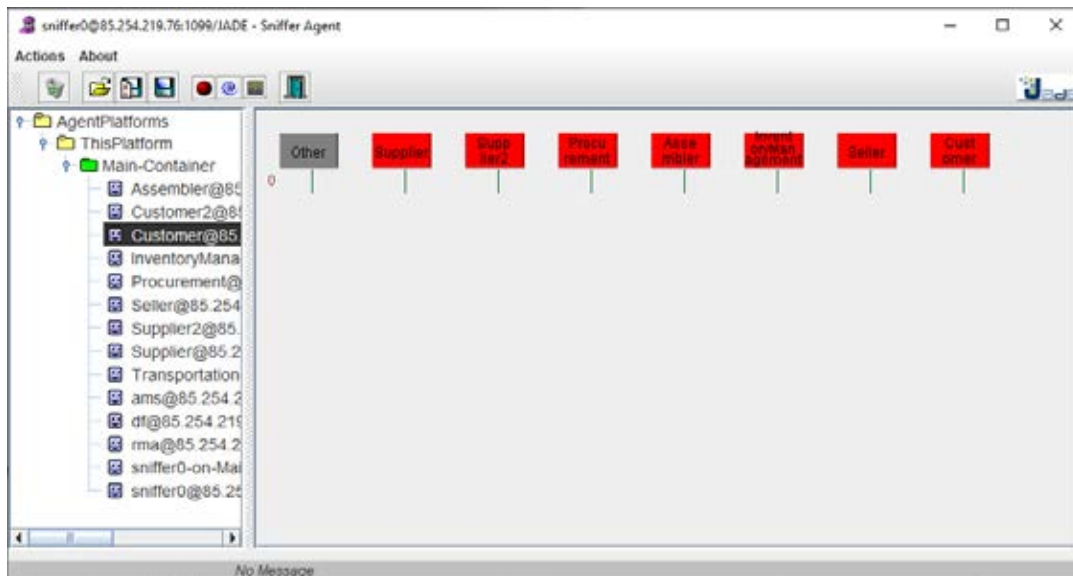
Attēlos ir redzams, ka Pircēja aģenta pieprasījuma apstrāde notiek uzreiz pēc pieprasījuma saņemšanas, otrā pieprasījuma apstrāde notiek uzreiz pēc pirmā pieprasījuma apstrādes. Aģentu mijiedarbības laiks ir mazāks par vienu minūti. Pieprasījumu daudzums nav ierobežots, pēc to saņemšanas tie tiks apstrādāti secīgi.

5.3.2. Izvēle starp dažādiem piegādātājiem

Šajā eksperimentā ir parādīta Iepirkuma aģenta piegādātāja izvēle, ja nepieciešamās izejvielas ir vairākiem no tiem, tad jāizvēlas labākais variants – lētākās izejvielas un to

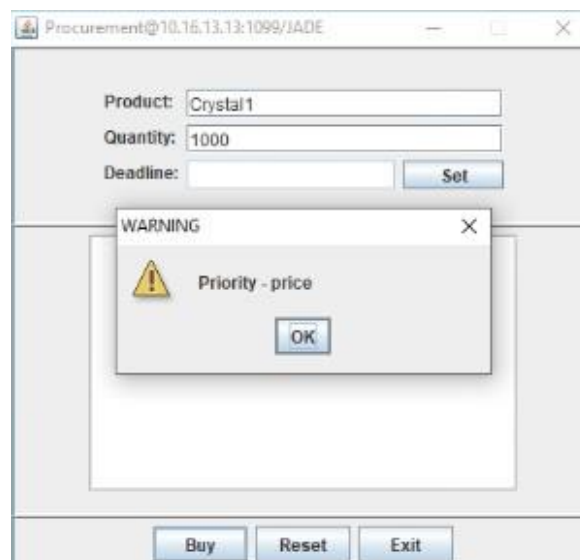
piegāde, nezaudējot kvalitāti (5.16. att.). Eksperimenta mērķis ir izvēlēties piegādātāju atkarībā no iepirkuma algoritma prioritātes – produkcijas cena vai piegādes laiks.

Tiek apskatīti divi piegādātāji, ar vienādu izejvielu kvalitāti, bet ar dažādām iepirkšanas un piegādes cenām. Iepirkuma aģentam ir jāizvēlās piegādātājs, kurš piedāvās labāku cenu, ar nosacījumu, ka izejvielu kvalitāte ir vienāda.



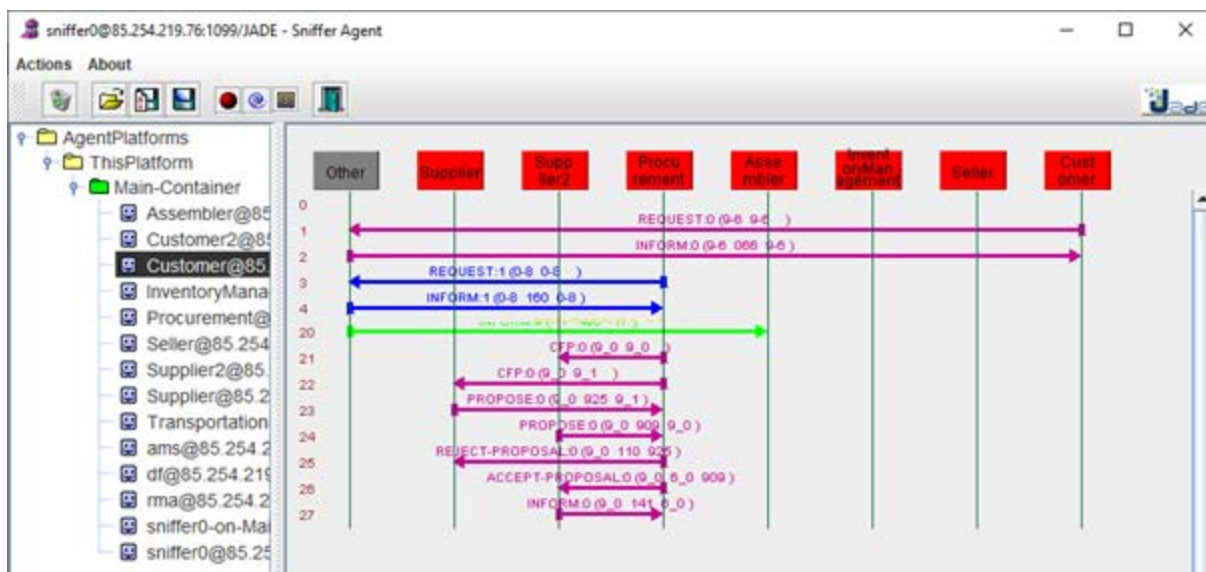
5.16. att. Otrā eksperimenta sākums.

Iepirkuma aģenta izejvielas pieprasījums ir parādīts 5.17. att. Šo pieprasījumu apstrādās aģenti, kuri varēs piedāvāt savus nosacījumus izejvielu iegādei. Izvēlnē „Deadline” ir jāatstāj tukšums un tiks parādīts, ka tika izvēlēta iepirkuma algoritma prioritāte – produkcijas cena.

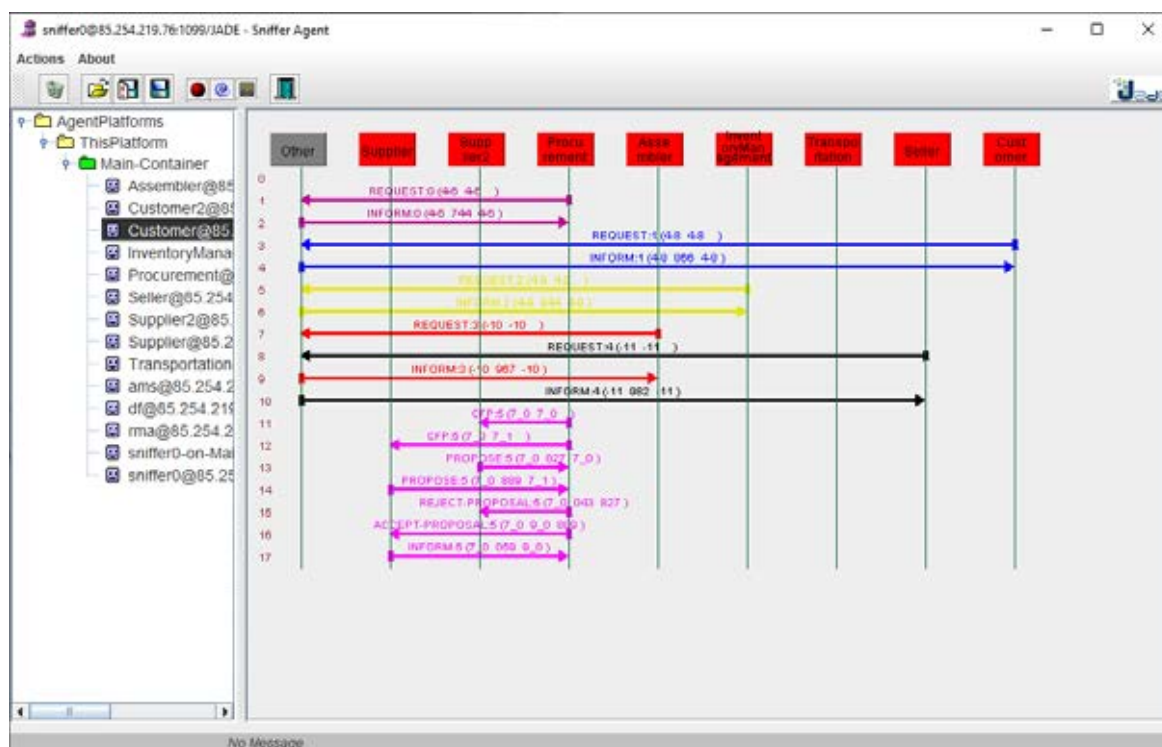


5.17. att. Nepieciešamo izejvielu pieprasījuma izveide piegādātājiem.

Nākamais eksperiments parāda dažādus variantus kad tiek piedāvātas dažādas cenas: kā aģents reaģē uz dažādiem piedāvājumiem. Demonstrācijas situācijās Piegādātājs2 iesniedza labāku piedāvājumu (5.18. att.) un tad Piegādātājs1 piedāvāja izdevīgākus nosacījumus izejvielu iegādei (5.19. att.).



5.18. att. Izejvielu pieprasījumu apstrāde (saīsināts).



5.19. att. Iepirkuma aģenta pieprasījuma apstrāde.

Abās reizēs tika izvēlēts ražošanas uzņēmumam labākais variants, jo tiek gaidīti dažādi piedāvājumi, tie tiek salīdzināti un tiek izvēlēta labākā alternatīva.

Gadījumā, kad izejvielu iepirkšanai prioritāte ir piegādes laiks un produkcijas cena nav galvenais kritērijs izejvielu iepirkšanai, tad izvēlnē „Deadline” ir jāuzraksta termiņš līdz kuram ir nepieciešams piegādāt precis (5.20. att.).



5.20. att. Iepirkuma aģenta izejvielu pieprasījuma izveide ar piegādes laika prioritāti.

5.3.3. Daudzaģentu sistēmas darbība pirmā mēneša laikā un tās analīze

Eksperimenta mērķis ir pārbaudīt daudzģentu sistēmas darbības efektivitāti, salīdzinot ar cilvēka darbību pie vienādiem sākumdatiem. Šajā eksperimentā ir paņemti sākumdati, t.i. noliktavas krājumi saskaitīti ar ražošanā esošajām precēm (5.4. tab.), kas tika apskatīti augstāk, lai pabeigtu pētījumu ar skaitliskiem rezultātiem. Aģentu uzvedība ir aprakstīta konspektīvi, jo tie paši dati tika izmantoti 5.2. nodaļā katra aģenta uzvedību detalizētajam aprakstam.

5.3.3.1. Krājumu vadības aģenta darbības rezultāts

Daudzaģentu sistēmas pirmā lietošana reālam uzdevumam sākas ar Krājumu vadības aģenta inicializāciju, lai analizētu pieejamos krājumus un prognozētu nākotnes pasūtījumus izstrādātai ražošanai. ABC analīzes rezultāti apkopoti 5.5. tabulā.

Krājumu vadības aģenta darbība nodrošina pieprasījuma prognozēšanu, drošības krājumu un pasūtīšanas punktu definēšanu (5.7. tabula).

Tabulā var redzēt Krājumu vadības aģenta rezultātus A klases produkcijai – krājumu līmeņa nepietiekošs daudzums atkarībā no prognozētā pieprasījuma, drošības krājumu un pasūtīšanas punkta. A klases produkcijai nepieciešama stingra krājumu kontrole, bieža pieprasījuma prognoze un pārskatīšana; šīs klases produkcijas daudzums ir rūpīgi jākontrolē.

5.3.3.2. Ražošanas aģenta darbības rezultāts

Pēc Krājumu vadības aģenta darbības un saņemtajiem rezultātiem, tika aktivizēts Ražošanas aģents. Ražošanas aģenta darbības rezultāts ir parādīts saraksta veidā ar saražotās produkcijas apjomiem, sk. 5.10. tabulu.

Saražotās produkcijas daudzums 1. mēnesī

Produkcija	Ražots 1. mēnesī
MChip1	200
MChip47	8000
MChip49	6000
MChip52	800
MChip53	600

5.3.3.3. *Pārdošanas aģenta darbības rezultāts*

Pēc pirmā izpētītā mēneša, tika pārdotas pasūtītās preces (5.3. tab.). Pieprasījums tika izpildīts, nepieciešamā produkcija laicīgi tika aizsūtīta pircējiem, abas puses ir apmierinātas ar sadarbību.

5.3.3.4. *Uzņēmuma darbības analīze*

Pēc pirmā pētījuma mēneša tika analizēti saņemtie rezultāti – daudzāģentu sistēmas rezultāti tika salīdzināti ar cilvēka darbības rezultātiem (5.11. tab., 5.12. tab.).

Pirmā mēneša darbības rezultātu salīdzinājums

Produkcija	Daudzāģentu sistēmas krājumu daudzums	Cilvēku darbības krājumu daudzums
MChip1	200	69
MChip2	5635	5776
MChip3	213	213
MChip4	104	104
MChip5	12	112
MChip6	90	90
MChip7	450	450
MChip8	0	0
MChip9	5605	5605
MChip10	3355	3940
MChip11	325	1325
MChip12	12678	23876
MChip13	2491	2491
MChip14	60	1860
MChip15	437	437
MChip16	337	337

Produkcija	Daudzaģentū sistēmas krājumu daudzums	Cilvēku darbības krājumu daudzums
MChip17	375	2646
MChip18	3634	3634
MChip19	15	15
MChip20	1372	1372
MChip21	4848	4948
MChip22	12406	12406
MChip23	666	666
MChip24	2226	2776
MChip25	2202	2202
MChip26	101	101
MChip27	3102	3102
MChip28	370	370
MChip29	15500	16700
MChip30	9034	9354
MChip31	350	350
MChip32	1687	1787
MChip33	4631	4806
MChip34	3404	3404
MChip35	2488	2488
MChip36	846	1473
MChip37	2730	2730
MChip38	581	581
MChip39	134	134
MChip40	11	11
MChip41	427	527
MChip42	508	508
MChip43	13472	13472
MChip44	1758	1758
MChip45	1239	1339
MChip46	354	354
MChip47	10871	4071
MChip48	5039	5039
MChip49	7446	1446
MChip50	4	4
MChip51	14	14
MChip52	207	389
MChip53	1353	753
MChip54	31	131
MChip55	860	860
MChip56	125	125
KOPĀ:	148413	155531

Pieprasījums ir apmierināts abos gadījumos, gan daudzāģentu sistēmas, gan cilvēka darbības rezultātā. Daudzums pētījuma sākumā ir ņemts no 5.4. tabulas.

5.12. tabula

Pirmā mēneša rezultātu salīdzinājums

Sākumdati par krājumiem noliktavā	Daudzāģentu sistēmas darbības rezultāts	Cilvēka darbības rezultāts
172403	148413	155531

Iegūtie rezultāti liecina, ka pēc pirmā mēneša daudzāģentu sistēmas darbības noliktavā uzglabātais daudzums samazinājies, salīdzinot ar cilvēka darbības rezultātu, kas savukārt samazina uzglabāšanas izmaksas.

5.3.4. Daudzāģentu sistēmas darbība otrā mēneša laikā un tās analīze

Eksperimenta mērķis ir pārbaudīt daudzāģentu sistēmas darbību pēc otrā darbības mēneša, salīdzinot ar cilvēka darbības rezultātiem. Daudzāģentu sistēmas rezultāti pirmajā mēnesī, t.i., produkcijas krājumu līmeņi, tiek izmantoti kā otrā mēneša sākumdati (5.13. tab.).

5.13. tabula

Krājumu daudzums daudzāģentu sistēmas darbības rezultātā pēc 1. mēneša

Produkcija	Daudzums pētījuma sākumā	Daudzums pēc 1. mēneša
MChip1	69	200
MChip2	5915	5635
MChip3	213	213
MChip4	104	104
MChip5	212	12
MChip6	5478	90
MChip7	450	450
MChip8	0	0
MChip9	5605	5605
MChip10	3940	3355
MChip11	2125	325
MChip12	20722	12678
MChip13	2491	2491
MChip14	7004	60
MChip15	437	437
MChip16	337	337
MChip17	10375	375

Produkcija	Daudzums pētījuma sākumā	Daudzums pēc 1. mēneša
MChip18	3634	3634
MChip19	15	15
MChip20	1372	1372
MChip21	4948	4848
MChip22	12406	12406
MChip23	666	666
MChip24	2776	2226
MChip25	2202	2202
MChip26	101	101
MChip27	3102	3102
MChip28	370	370
MChip29	15500	15500
MChip30	9354	9034
MChip31	350	350
MChip32	1787	1687
MChip33	4631	4631
MChip34	3404	3404
MChip35	2488	2488
MChip36	1456	846
MChip37	2730	2730
MChip38	581	581
MChip39	134	134
MChip40	11	11
MChip41	527	427
MChip42	508	508
MChip43	13472	13472
MChip44	1758	1758
MChip45	1339	1239
MChip46	354	354
MChip47	5671	10871
MChip48	5039	5039
MChip49	1446	7446
MChip50	4	4
MChip51	14	14
MChip52	907	207

Produkcija	Daudzums pētījuma sākumā	Daudzums pēc 1. mēneša
MChip53	753	1353
MChip54	131	31
MChip55	860	860
MChip56	125	125
Kopā	172403	148413

5.3.4.1. Krājumu vadības aģenta darbības rezultāts

Analizējot esošos datus par krājumu līmeni un pārdošanu pagatnē, Krājumu vadības aģents izdarīja šādus secinājumus: ABC analīzes fragments otrajam mēnesim ir atspoguļots 5.14. tabulā, savukārt, prognozētais pieprasījums ir izklāstīts 5.15. tabulā.

5.14. tabula

ABC analīzes rezultāts (A klasei)

Produkcija	Summa	% no kop.	Kumul., %	Rangs	ABC analīzes rezultāts
MChip17	583268,00	20,38	20,38	1	A
MChip22	386865,10	13,51	33,89	2	A
MChip6	227550,60	7,95	41,84	3	A
MChip2	171837,40	6,00	47,84	4	A
MChip12	129759,00	4,53	52,38	5	A
MChip14	118748,70	4,15	56,52	6	A
MChip47	111100,70	3,88	60,41	7	A
MChip1	105162,40	3,67	64,08	8	A
MChip54	96531,60	3,37	67,45	9	A
MChip53	94681,26	3,31	70,76	10	A
MChip36	76255,20	2,66	73,42	11	A

5.15. tabula

Prognozētais pieprasījums otrajam mēnesim

Produkcija	Daudzums
MChip1	135
MChip2	234
MChip6	810
MChip7	35
MChip8	45
MChip9	120
MChip12	8984
MChip14	1237

Produkcija	Daudzums
MChip17	1971
MChip21	170
MChip24	119
MChip27	59
MChip36	392
MChip38	424
MChip41	114
MChip43	1739

Produkcija	Daudzums
MChip46	63
MChip47	3958

Produkcija	Daudzums
MChip48	34
MChip54	39

Krājumu vadības aģenta darbības rezultātā tika salīdzināts produkcijas krājumu daudzums ar prognozēto pieprasījumu, īpašu uzmanību pievēršot A klases produkcijai.

5.3.4.2. Ražošanas aģenta darbība

Salīdzinājuma rezultātā tika izdarīts ražošanas pasūtījums produkcijai nepieciešamajā daudzumā. Savukārt saņemot reālo pasūtījumu no pasūtītājiem mēneša laikā (prognozētie pieprasījumi un jaunu pircēju pieprasījumi), tiek atjaunota prognoze un tiek papildināti ražošanas pasūtījumi, ja šāda nepieciešamība rodas. Otrā mēneša ražošanas pasūtījumi izskatās šādi (5.16. tab.).

5.16. tabula

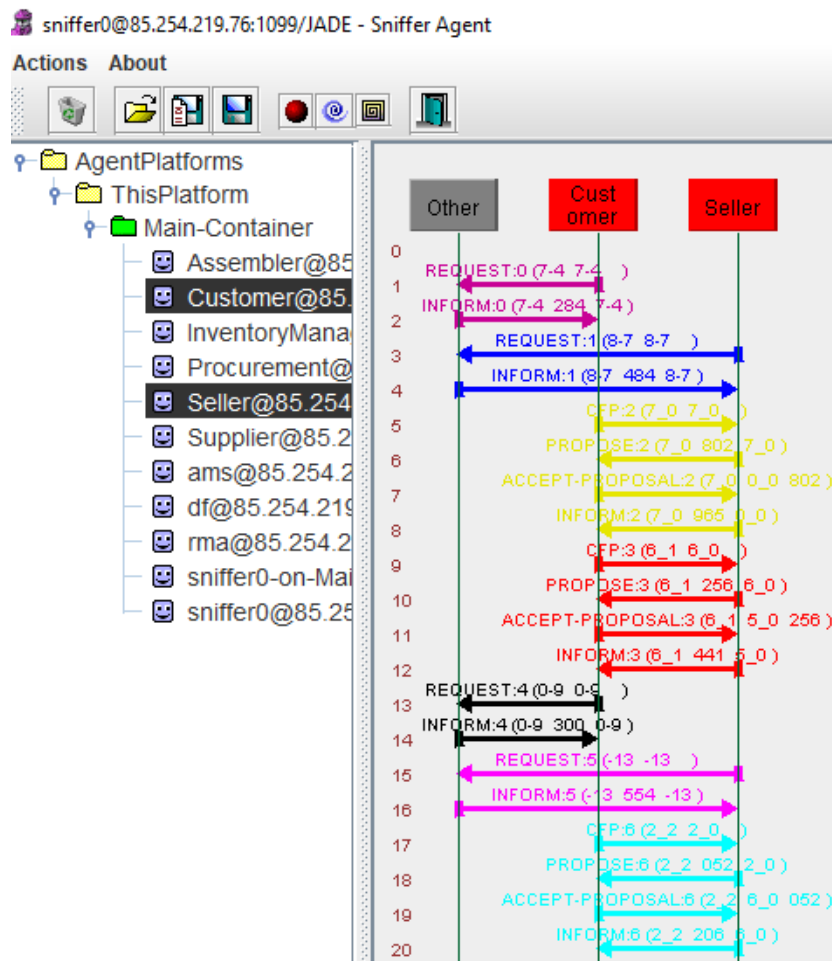
Saražotās produkcijas daudzums 2. mēnesī

Produkcija	Ražots 2. mēnesī
MChip6	2500
MChip8	4000
MChip14	5200
MChip17	1600
MChip36	1000
MChip38	400
MChip54	100

Savukārt, ja mēneša laikā prognozētais pieprasījums atšķiras no reālā par vairāk nekā 30%, tad Krājumu vadības aģents pēc pieprasījuma prognozēšanas korigē nākamās ražošanas pasūtījumus atbilstoši iegūtajai starpībai.

5.3.4.3. Pārdošanas aģenta darbība

Pārdošanas aģents saņem pasūtījumus no pircējiem un var papildināt savu pasūtījumu jebkurā brīdī, atsūtot jaunu ziņojumu (5.21. att.).



5.21. att. Vairāku pieprasījumu saņemšana no pircēja.

Pārdošanas aģents otrā mēneša laikā ir saņēmis pieprasījumus no dažādiem pircējiem, pieprasītā produkcija ir atspoguļota 5.17. tabulā.

5.17. tabula

Pieprasījums otrajam mēnesim

Produkcija	Otrā mēneša pieprasījums
MChip1	131
MChip2	350
MChip6	1623
MChip7	60
MChip8	3752
MChip9	146
MChip12	7176
MChip14	4900
MChip17	1650
MChip21	200

Produkcija	Otrā mēneša pieprasījums
MChip24	350
MChip27	255
MChip36	1300
MChip38	681
MChip41	230
MChip43	1000
MChip46	232
MChip47	3471
MChip48	25
MChip54	131

Pircēju pieprasījums ir izpildīts laicīgi un pilnā apmērā gan daudzāģentu sistēmas, gan cilvēku darbības laikā.

5.3.4.4. Otrā mēneša darbības rezultāts

Otrā mēneša daudzāģentu sistēmas darbības rezultāta salīdzinājums ar cilvēka darbības rezultātu ir apkopots 5.18. un 5.19. tabulās.

5.18. tabula

Otrā mēneša darbības rezultātu salīdzinājums

Produkcija	Daudzāģentu sistēmas krājumu daudzums	Cilvēku darbības krājumu daudzums
MChip1	69	116
MChip2	5285	5778
MChip3	213	213
MChip4	104	104
MChip5	12	202
MChip6	967	450
MChip7	390	390
MChip8	248	0
MChip9	5459	5605
MChip10	3355	3940
MChip11	325	1325
MChip12	5502	36901
MChip13	2491	2491
MChip14	360	217

Produkcija	Daudzaģentu sistēmas krājumu daudzums	Cilvēku darbības krājumu daudzums
MChip15	437	437
MChip16	337	337
MChip17	325	7093
MChip18	3634	3634
MChip19	15	15
MChip20	1372	1372
MChip21	4648	4948
MChip22	12406	12406
MChip23	666	666
MChip24	1876	2426
MChip25	2202	2202
MChip26	101	101
MChip27	2847	3102
MChip28	370	370
MChip29	15500	16700
MChip30	9034	12865
MChip31	350	350
MChip32	1687	1787
MChip33	4631	4806
MChip34	3404	3404
MChip35	2488	2488
MChip36	546	173
MChip37	2730	2730
MChip38	300	0
MChip39	134	134
MChip40	11	11
MChip41	197	527
MChip42	508	508
MChip43	12472	13472
MChip44	1758	1758
MChip45	1239	1339
MChip46	122	354
MChip47	7400	7514
MChip48	5014	5039

Produkcija	Daudzaģentu sistēmas krājumu daudzums	Cilvēku darbības krājumu daudzums
MChip49	7446	1446
MChip50	4	4
MChip51	14	14
MChip52	207	389
MChip53	1353	753
MChip54	0	524
MChip55	860	860
MChip56	125	125
KOPĀ:	135550	176903

Pieprasījums ir apmierināts abos gadījumos, gan daudzaģentu sistēmas, gan cilvēka darbības rezultātā, atšķirība ir gatavās produkcijas krājumu līmenī.

5.19. tabula

Pirmo divu mēnešu darbības rezultāti

	1. mēneša rezultāts		2. mēneša rezultāts	
Sākumdati par krājumiem noliktavā	Daudzaģentu sistēmas darbības rezultāts	Cilvēka darbības rezultāts	Daudzaģentu sistēmas darbības rezultāts	Cilvēka darbības rezultāts
172403	148413	155531	135550	176903

Pēc diviem mēnešiem var secināt, ka daudzaģentu sistēmas darbības rezultātā krājumi noliktavā samazinās, joprojām izpildot pircēju pieprasījumu laikus un pilnā apmērā. Savukārt otrā mēneša laikā cilvēka darbības rezultātā noliktavas krājumi palielinās, salīdzinot ar pirmā mēneša rezultātiem. Krājumu vadības uzdevums ir samazināt krājumu līmeni noliktavā, šādi samazinot krājumu uzglabāšanas izmaksas, bet tajā pat laikā jābut pietiekošiem krājumiem, lai varētu izpildīt pircēju pieprasījumus. Pēc iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka daudzaģentu sistēmas darbības rezultāti ir labāki.

5.3.5. Daudzaģentu sistēmas darbība trešā mēneša laikā un tās analīze

5.3.5.1. Trešā mēneša sākumdati

Par trešā mēneša sākumdatiem daudzaģentu sistēmai tiek pieņemti krājumu līmeņi pēc otrā mēneša daudzaģentu sistēmas darbības (5.20. tab.).

5.20. tabula

Krājumu daudzums daudzāģentu sistēmas divu mēnešu darbības rezultātā

Produkcija	Daudzums pētījuma sākumā	Daudzums pēc 1. mēneša	Daudzums pēc 2. mēneša
MChip1	69	200	69
MChip2	5915	5635	5285
MChip3	213	213	213
MChip4	104	104	104
MChip5	212	12	12
MChip6	5478	90	967
MChip7	450	450	390
MChip8	0	0	248
MChip9	5605	5605	5459
MChip10	3940	3355	3355
MChip11	2125	325	325
MChip12	20722	12678	5502
MChip13	2491	2491	2491
MChip14	7004	60	360
MChip15	437	437	437
MChip16	337	337	337
MChip17	10375	375	325
MChip18	3634	3634	3634
MChip19	15	15	15
MChip20	1372	1372	1372
MChip21	4948	4848	4648
MChip22	12406	12406	12406
MChip23	666	666	666
MChip24	2776	2226	1876
MChip25	2202	2202	2202
MChip26	101	101	101
MChip27	3102	3102	2847
MChip28	370	370	370
MChip29	15500	15500	15500
MChip30	9354	9034	9034
MChip31	350	350	350
MChip32	1787	1687	1687

Produkcija	Daudzums pētījuma sākumā	Daudzums pēc 1. mēneša	Daudzums pēc 2. mēneša
MChip33	4631	4631	4631
MChip34	3404	3404	3404
MChip35	2488	2488	2488
MChip36	1456	846	546
MChip37	2730	2730	2730
MChip38	581	581	300
MChip39	134	134	134
MChip40	11	11	11
MChip41	527	427	197
MChip42	508	508	508
MChip43	13472	13472	12472
MChip44	1758	1758	1758
MChip45	1339	1239	1239
MChip46	354	354	122
MChip47	5671	10871	7400
MChip48	5039	5039	5014
MChip49	1446	7446	7446
MChip50	4	4	4
MChip51	14	14	14
MChip52	907	207	207
MChip53	753	1353	1353
MChip54	131	31	0
MChip55	860	860	860
MChip56	125	125	125
Kopā	172403	148413	135550

5.3.5.2. Krājumu vadības aģenta darbības rezultāts

Krājumu vadības aģents analizējot krājumu līmeni produkcijas noliktavā un pārdošanas apjomus pagatnē, pirmkārt izdara secinājumu par produkcijas piederību klasēm pēc ABC analīzes (5.21. tab.).

5.21. tabula

ABC analīzes rezultāts (A klasei)

Produkcija	Summa	% no kop.	Kumul., %	Rangs	ABC analīzes rezultāts
MChip17	604635,50	20,21	20,21	1	A
MChip22	386865,10	12,93	33,15	2	A
MChip6	247059,10	8,26	41,41	3	A
MChip2	180580,40	6,04	47,45	4	A
MChip14	143983,70	4,81	52,26	5	A
MChip12	129759,00	4,34	56,60	6	A
MChip54	118795,10	3,97	60,57	7	A
MChip47	114849,40	3,84	64,41	8	A
MChip1	109129,10	3,65	68,06	9	A
MChip53	94681,26	3,17	71,22	10	A
MChip36	88631,20	2,96	74,19	11	A

Otrkārt, Krājumu vadības aģents prognozē pieprasījumu (5.22. tab.) un izskaitļo drošības krājumu daudzumu un pasūtīšanas punktu.

5.22. tabula

Prognozētais pieprasījums

Produkcija	Daudzums (gab.)
MChip2	241
MChip4	4
MChip10	428
MChip12	8871
MChip14	1079
MChip29	343
MChip30	179
MChip36	351
MChip47	3928
MChip54	31

Krājumu vadības aģents, pievēršot lielāku uzmanību A klases produkcijai, izveido ražošanas pasūtījumus.

5.3.5.3. Ražošanas aģenta darbība

Ražošanas aģents savukārt visiem ražošanas pasūtījumiem piedāvā tādu ražošanas operāciju secību, kura samazina kopējo ražošanas laiku. Ražošanas apjomi trešajam mēnesim ir atspoguļoti 5.23. tabulā.

5.23. tabula

Saražotās produkcijas daudzums trešajā mēnesī

Produkcija	Ražots 3. mēnesī
MChip1	100
MChip6	1000
MChip12	8000
MChip17	1600
MChip36	2000
MChip54	60

Saņemot reālu pieprasījumu no pircējiem, Krājumu vadības aģents modificē ražošanas pasūtījumus nākamajam mēnesim, ja šāda nepieciešamība radīsies, t.i. ja starpība starp prognozēto un reālo pieprasījumu būs vairāk nekā 30%.

5.3.5.4. Pārdošanas aģenta darbības rezultāts

Pārdošanas aģents saņem pasūtījumus no pircējiem, kopējais produkcijas pieprasījums trešajā mēnesī ir atspoguļots 5.24. tabulā.

5.24. tabula

Pieprasījums trešajam mēnesim

Produkcija	3. mēneša pieprasījums
MChip2	10
MChip4	55
MChip10	740
MChip12	6071
MChip14	41
MChip29	600
MChip30	400
MChip36	2270
MChip47	2000
MChip54	39

5.3.5.5. Trešā mēneša darbības rezultāts un salīdzinājums ar cilvēka darbības rezultātu

Pēc trim mēnešiem tika apkopoti daudzāģentu sistēmas darbības rezultāti, un tie tika salīdzināti ar cilvēka darbības rezultātiem (5.25. tab.).

Trešā mēneša darbības rezultātu salīdzinājums

Produkcija	Daudzaģentū sistēmas darbības krājumu daudzums	Cilvēku darbības krājumu daudzums
MChip1	169	352
MChip2	5275	5778
MChip3	213	213
MChip4	49	110
MChip5	12	248
MChip6	1967	450
MChip7	390	390
MChip8	248	3473
MChip9	5459	5605
MChip10	2615	3785
MChip11	325	7111
MChip12	7431	30892
MChip13	2491	2491
MChip14	319	176
MChip15	437	437
MChip16	337	337
MChip17	1925	10746
MChip18	3634	3634
MChip19	15	15
MChip20	1372	1372
MChip21	4648	5185
MChip22	12406	12663
MChip23	666	666
MChip24	1876	2426
MChip25	2202	2202
MChip26	101	101
MChip27	2847	3102
MChip28	370	370
MChip29	14900	16900
MChip30	8634	12865
MChip31	350	350
MChip32	1687	1787

Produkcija	Daudzaģentū sistēmas darbības krājumu daudzums	Cilvēku darbības krājumu daudzums
MChip33	4631	4806
MChip34	3404	3404
MChip35	2488	2488
MChip36	276	80
MChip37	2730	2730
MChip38	300	625
MChip39	134	134
MChip40	11	11
MChip41	197	527
MChip42	508	508
MChip43	12472	13472
MChip44	1758	1758
MChip45	1239	1878
MChip46	122	412
MChip47	5400	11917
MChip48	5014	5039
MChip49	7446	1446
MChip50	4	4
MChip51	14	14
MChip52	207	389
MChip53	1353	753
MChip54	21	485
MChip55	860	860
MChip56	125	125
KOPĀ:	136084	190097

Pieprasījums ir apmierināts abos gadījumos – gan daudzaģentū sistēmas, gan cilvēka darbības rezultātā. Daudzaģentū sistēmas un cilvēka darbības rezultātu salīdzinājums trīs mēnešu laikā ir apkopots 5.26. tabulā.

Daudzaģentu sistēmas un cilvēka darbības rezultātu salīdzinājums

Laika posms	Daudzaģentu sistēmas darbības rezultāts	Cilvēka darbības rezultāts
Sākumdati	172403	
1. mēnesis	148413	155531
2. mēnesis	135550	176903
3. mēnesis	136084	190097

Ir redzams, ka ar daudzaģentu sistēmas palīdzību krājumi un ar tiem saistītās uzglabāšanas izmaksas samazinājās. Pieprasījums ir izpildīts, līdz ar to var secināt, ka sistēma darbojas efektīvi. Ja Krājumu vadības aģentu izņem no sistēmas, ražošana notiek pēc intuitīvām cilvēka darbībām.

5.3.6. Papildu eksperiments daudzaģentu sistēmas darbības pārbaudei

Eksperimenta mērķis ir pārbaudīt daudzaģentu sistēmu, ņemot vērā uzņēmuma datus, mazākā laika periodā: deviņi mēneši – analīzei, astoņi mēneši – darbības analīzei.

Pirms daudzaģentu sistēmas katra jauna gadījuma lietošanas sākuma ir jāveic pieci daudzaģentu sistēmas pielāgošanas soļi, kas aprakstīti 4.4 apakšnodaļā:

- 1) aģentu daudzums tika definēts, izpildot nepieciešamā aģentu daudzuma noteikšanas procedūru (sk. 4.9. att.).
- 2) tika palaista lietotāja saskarne: pievienota piekļuve pie izejvielu un gatavās produkcijas datiem un iepriekšējās pārdošanas datiem ka arī ievadīts individuālā gadījuma ražošanas procesa apraksts.
- 3) *JADE* izpildes rezultātā tiks atspoguļoti visi izvēlēti aģenti.
- 4) pēc daudzaģentu sistēmas palaišanas Krājumu vadības aģents veic pirmo darbību, lai definētu esošo situāciju, noteiktu prioritātes un analizētu krājumus.
- 5) pēc tam pārējie aģenti sāk darbību atbilstoši saviem mērķiem un uzvedībām.

Eksperimenta laikā aģentu darbības secība ir līdzīga augstākaprakstīti, mainās tikai ieejas dati par krājumu līmeņiem daudzaģentu sistēmā.

Dažādu pircēju pieprasījumu apstrāde, kā arī izvēle starp dažādiem piegādātājiem šajā eksperimentā netiks aprakstīti, jo aģentu darbības un to rezultāti nemainījās.

Eksperimenta laikā tika apskatītas aģentu darbības astoņu mēnešu laikā lielāku uzmanību pievēršot Ražošanas un Krājumu vadības aģenta darbībām un to rezultātiem. Daudzaģentu sistēmas darbības rezultāti tika salīdzināti ar uzņēmuma darbinieku darbības rezultātiem.

Pirmā Krājumu vadības aģenta palaišana, izmantojot jaunus datus, parādīja, ka ABC analīzes rezultāti (5.27. tab.) ir līdzīgi iepriekšsaņemtajiem. Tie atšķiras vienā pozīcijā, kas tika novērtēta kā B klase un pārējā produkcija ar ranga vērtību (5.5. tabulā).

ABC analīzes rezultāts

Produkcija	Rangs	ABC analīzes rezultāts
MChip1	10	A
MChip2	3	A
MChip6	5	A
MChip12	2	A
MChip14	11	A
MChip17	1	A
MChip22	4	A
MChip36	8	A
MChip47	7	A
MChip53	6	A
MChip54	9	A

Krājumu vadības aģenta darbības rezultātā tika aprēķināti arī prognozētie pieprasījumi, drošības krājumi un pasūtīšanas punkti. Līdzīgi, ka tika izdarīts 5.2. apakšnodaļā, ir piedāvāts saskaitīt gatavo produkciju ar produkciju daudzumu ražošanā, un šo summu izmantot tālāk daudzāģentu sistēmā kā sākotnējo punktu noliktavas aprakstā.

Pieprasījuma prognoze tika aprēķināta atbilstoši esošajiem prognozēšanas algoritmiem un to izvēles kārtībai: katrai produkcijai tika izmantoti daudzāģentu sistēmas prognozēšanas algoritmi iepriekšējiem astoņiem mēnešiem, un to rezultāti tika salīdzināti ar devītā mēneša datiem. Algoritms ar mazāku prognozēšanas kļūdu, šai produkcijai tiek uzskatīts par piemērotu prognozei nākamajam mēnesim. Līdzīgi tiek izvēlēts prognozēšanas algoritms pārējai produkcijai.

Nākamajos pētījumos prognozēšanas algoritmi var tikt papildināti, lai piedāvātu precizākus rezultātus, bet izstrādātajā daudzāģentu sistēmā notiek arī reāla pieprasījuma salīdzināšana ar prognozēto, t.i., pieņemsim izvēlēta prognozēšanas algoritma rezultātā pieprasījums ir 2000, bet reālais pieprasījums mēneša laikā tika saņemts 1500, šī starpība tiks ņemta vērā nākamā prognozēšanas laikā. Vai otrādi, ja reālais pieprasījums pārsniedza prognozēto, tad ražošanā tiks pasūtītas produkcijas partijas atbilstoši šai starpībai.

Daudzāģentu sistēmas darbības efektivitāte tika pārbaudīta, salīdzinot ar uzņēmuma darbinieku rezultātu astoņu mēnešu datiem (5.28. tab.).

Daudzaģentu sistēmas un cilvēka darbības rezultātu salīdzinājums

Laika posms	Daudzaģentu sistēmas darbības rezultāts	Cilvēka darbības rezultāts
Sākumdati	166940	
1. mēnesis	146017	170031
2. mēnesis	118116	156209
3. mēnesis	120516	170344
4. mēnesis	111495	153455
5. mēnesis	105740	157306
6. mēnesis	99405	155531
7. mēnesis	97662	176903
8. mēnesis	96931	190097

No iegūtiem rezultātiem var secināt, ka izstrādātā daudzģentu sistēma pielāgojas konkrētajam lietošanas gadījumam, piedāvājot krājumu daudzuma un ar to saistītas izmaksas samazināšanu.

5.4. Izstrādātās sistēmas lietošanas efektivitātes mērīšana

Izstrādātās daudzģentu sistēmas veiktspēja analizēta saskaņā ar iepriekš definētiem veiktspējas mērīšanas rādītājiem (1.7. tab.): kopējais ražošanas laiks; krājumu uzglabāšanas izmaksas; pircēju pieprasījumu apstrādes laiks; servisa līmenis.

5.4.1. Kopējais ražošanas laiks

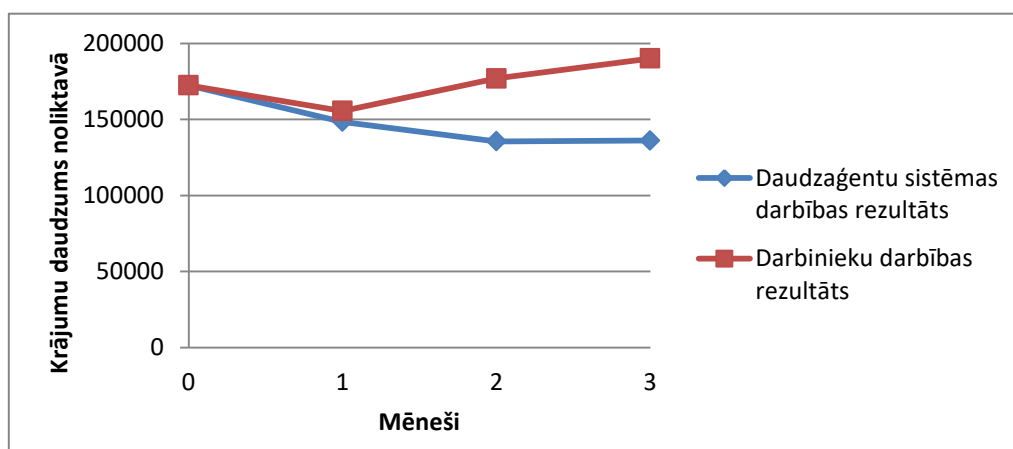
Ražošanas secības plānošanā un pārplānošanā, it īpaši, ja pastāv ražošanas iekārtu noslodzes ierobežojumi un ilgs (vidēji mēnesis) ražošanas laiks, bet pieprasījumi jāizpilda mēneša, pusotra mēneša laikā, kopējā ražošanas laika samazināšana ir būtisks uzdevums.

Promocijas darba izstrādes laikā dažādu preču ražošanas secību plānošanas un pārplānošanas rezultāti atšķiras līdz divām nedēļām viena mēneša laikā. Cilvēks var intuitīvi vai pēc savas pieredzes izvēlēties ātrāko ražošanas secību, taču produkcijas secības variantu ilgums var svārstīties no trīs dienām līdz divām nedēļām mēneša laikā.

5.4.2. Krājumu uzglabāšanas izmaksas

Pētījuma gaitā tika sasniegti dažādi krājumu līmeņi, kas veidojas cilvēka un daudzģentu sistēmas darbības dēļ. Abos gadījumos pircēju pieprasījumi tika apmierināti, taču krājumu

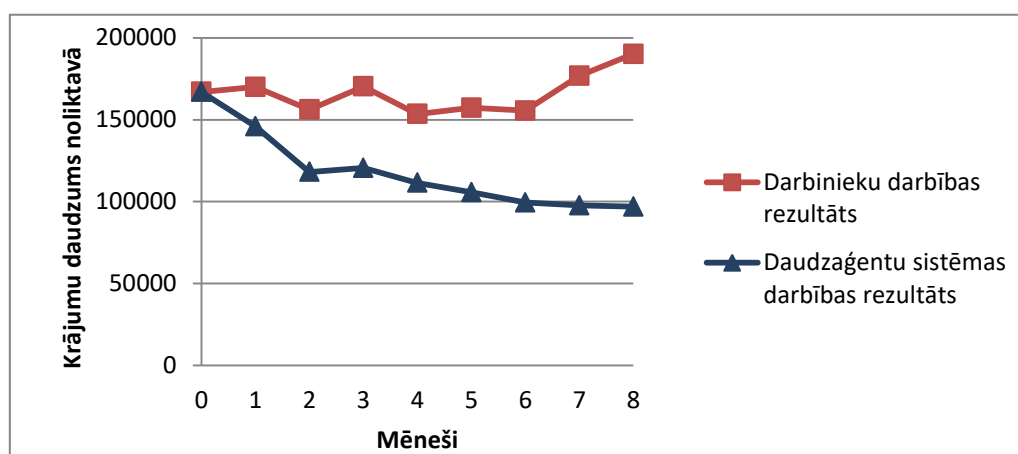
līmenis gatavās produkcijas noliktavā atšķirās (5.22. att.). Daudzaģentu sistēmas darbības rezultātā krājumu līmenis samazinājās, līdz ar to samazinājās arī uzglabāšanas izmaksas un iesaldētie finansiālie līdzekļi; tātad, ņemot vērā atbilstošo kritēriju, mērķis ir sasniegts.



5.22. att. Krājumu daudzuma salīdzinājums 3 mēnešu darbības laikā.

Trīs mēnešu laikā daudzaģentu sistēmas darbības laikā krājumi samazinājās, salīdzinājot ar sākumdatiem un uzņēmuma darbinieku darbību rezultātu. Tomēr krājumi ir samēra lieli, kas var būt paskaidrots ar lielu krājumu daudzumu pētījuma sākuma laikā.

Papildu eksperimenta laikā tika saņemti šādi rezultāti (5.28. tab.) un grafiski atspoguļoti 5.23. att. Ir redzams, ka krājumu līmenis daudzaģentu sistēmas darbības rezultātā pakāpeniski samazinās, pēc divu mēnešu daudzaģentu sistēmas darbības tika saņemts zems pieprasījums (divreiz mazāks nekā vidējais par 11 mēnešiem), tāpēc nākamajos mēnešos krājumu līmeni samazinājās lēnāk.



5.23. att. Krājumu daudzuma salīdzinājums 8 mēnešu darbības laikā.

Salīdzinot 5.22. att. un 5.23. att. redzamus rezultātus var secināt, ka, izmantojot izstrādāto daudzaģentu sistēmu, krājumu līmeņi ar laiku tiek samazināti un tiecās līdz drošības krājumu līmeņiem.

5.4.3. Pircēju pieprasījumu apstrādes laiks

Starpmezglu sadarbību var novērtēt, salīdzinot cilvēka un aģenta patērēto laiku, kas nepieciešams sadarbībai. Pieprasījuma apstrādes laiku ietekmējoši faktori cilvēkam ir šādi: darba noslodze; darba pārtraukums un veselības stāvoklis; pasūtīto produkciju un krājumu līmeņu salīdzinājums un cilvēkfaktors. Tā rezultātā pieprasījuma apstrādes laiks var svārstīties:

- cilvēkam – no 10 minūtēm līdz vienai darba dienai,
- aģentam – līdz 1 minūtei.

5.4.4. Servisa līmenis

Servisa līmenis tiek skaitļots pēc formulas (1.1). Vēlamais uzņēmuma servisa līmenis ir 95%, kas tiek skaitīts par efektīvu.

Pētījuma laikā visi pieprasījumi tika izpildīti, servisa līmenis sasniedza 100%, vēlamais servisa līmenis ir sasniegts.

5.5. Nodaļas apkopojums un secinājumi

Šajā nodaļā tika apskatīta izstrādātās daudzāģentu sistēmas lietošana reālam uzņēmumam. Nodaļas sākumā tika aprakstīta ražošanas specifika, pieejamie dati un eksistējošās situācijas analīze. Analīzē tika atklāts, ka uzņēmumam ir nepieciešama uzlabošana, īpaši krājumu vadības uzdevumā.

Izstrādātajā daudzāģentu sistēmā uzņēmuma mezglā ir pieci aģenti. Katra aģenta darbība ir pārbaudīta, strādājot ar uzņēmuma datiem. Pēc katra aģenta darbības pozitīvā novērtējuma daudzāģentu sistēma tika apskatīta dažādos eksperimentos. Eksperimentāli tika parādīts, kā notiek izvēle starp dažādiem piegādātājiem Iepirkuma aģenta darbības algoritma pārbaudei, ka arī Pārdošanas aģenta darbība, ja pienāk pieprasījumi vienā brīdī. Nākamajos 3 eksperimentos apskatīta daudzāģentu sistēmas darbība pirmā mēneša laikā, divu un trīs mēnešu laikā. Iegūtie rezultāti tika salīdzināti ar cilvēka darbību.

Nodaļas beigās tika apskatīta lietošanas efektivitāte pēc definētiem kritērijiem:

- krājumu uzglabāšanas izmaksas – samazināti krājumi, bez krājumu *iztrūkuma* gadījumiem, šādi tika samazinātas krājumu uzglabāšanas izmaksas;
- kopējais ražošanas laiks – minimizēts kopējais ražošanas laiks, maksimizējot ražošanas iekārtu noslodzi;
- pircēju pieprasījumu apstrādes laiks – minimizēts apstrādes laiks;
- servisa līmenis – tika sasniegts vēlamais servisa līmenis.

Izstrādātās daudzāģentu sistēmas praktiskās lietošanas rezultāti ļauj secināt par tās efektivitāti.

PROMOCIJAS DARBA REZULTĀTU ANALĪZE UN SECINĀJUMI

Promocijas darbā tika sasniegts tā mērķis – izstrādāta pieeja daudzāģentu sistēmas izveidošanai, kas nodrošina piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanu. Visi definētie uzdevumi tika sekmīgi izpildīti. Promocijas darba izstrādes laikā tika iegūti vairāki rezultāti.

1. **Izanalizēti un atlasīti piegādes ķēdes vadības efektivitātes rādītāji.** Analīzes rezultātā tika noteikts, ka visbiežāk izmantotie veiktspējas rādītāji ir: pasūtījuma izpildes laiks; preču un izstrādājumu kvalitāte; jaudas izmantošana; klientu apkalpošanas līmenis; piegāde laikā; klienta pieprasījuma apstrādes laiks un krājumu izmaksas. Izstrādātajai daudzāģentu sistēmai promocijas darba izstrādes laikā sistēmas efektivitātes pārbaudei piedāvāts izmantot šādus efektivitātes rādītājus: kopējais ražošanas laiks; krājumu uzglabāšanas izmaksas; pircēju pieprasījumu apstrādes laiks un servisa līmenis. Šie rādītāji pārklāj galvenos piegādes ķēdes uzdevumus, un izstrādātajā daudzāģentu sistēmā efektivitātes rādītāji var tikt pievienoti, ja šāda nepieciešamība radīsies.
2. **Izpētītas daudzāģentu sistēmas, to lietošana piegādes ķēdes vadībai un to atkārtotas lietošanas iespējas.** Daudzāģentu sistēmas tiek izmantotas dažādiem uzdevumiem un pētījumiem. Lai gan to izmantošana pierādīja piegādes ķēdes vadības uzlabošanu, katram konkrētajam gadījumam ir nepieciešams izstrādāt jaunu daudzāģentu sistēmu. Esošās daudzāģentu sistēmas nav piemērotas atkārtotai izmantošanai un pilnībā neaptver piegādes ķēdes vadības uzlabošanas prasības: spēja darboties ar reāla uzņēmuma datiem; spēju paredzēt pieprasījumu, ražošanas plānošanu un pārplānošanu; spēju komunicēt ar piegādātājiem un klientiem; krājumu vadības metodoloģijas lietošanu, informācijas koplietošanu starp viena uzņēmuma aģentiem; atkārtotu daudzāģentu sistēmas izmantošanu. Pētījuma rezultātā tika secināts, ka ir jāizstrādā daudzāģentu sistēma, kas aptver šīs prasības.
3. **Izstrādāta daudzāģentu sistēmas arhitektūra.** Promocijas darbā tika izvēlēta heterogēna aģentu sistēma un modelī un mērķī balstīta aģentu arhitektūra. Aģentu mijiedarbībai kā sazināšanas līdzekli starp piegādes ķēdes mezgliem tika piedāvāts izmantot ontoloģiju un ieviest informācijas koplietošanu starp viena piegādes ķēdes mezgla aģentiem. Tika izstrādāta pieeja daudzāģentu sistēmas izveidošanai, kas nodrošina piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanu un ļauj to izmantot dažādiem dalībniekiem. Atkārtotai sistēmas lietošanai tika piedāvāts izstrādāt lietotāja saskarni, ar kuras palīdzību daudzāģentu sistēmai var aprakstīt katra individuāla gadījuma ražošanas procesu. Izvēlēta izstrādāšanas platforma ļauj viegli pārkonfigurēt daudzāģentu sistēmu un iekļaut papildu aģentus vai tos izņemt, ja šāda nepieciešamība radīsies.
4. **Izveidota atkārtoti lietojama daudzāģentu sistēma, un tā aprobēta, izmantojot reāla uzņēmuma datus.** Pēc izstrādātās pieejas tika izveidota daudzāģentu sistēma, un tā tika pārbaudīta ar ražošanas uzņēmuma, kas nodarbojas ar mikroshēmu ražošanu

un to tālāku pārdošanu piemēru. Promocijas darbā tika apskatīta katra aģenta darbība atsevišķā, kā arī starpmezglu saziņa starp Ražotāju un Piegādātāju, un starp Ražotāju un Pircēju. Pētījuma laikā tika pārbaudīts, ka Ražošanas aģents daudzāģentu sistēmas darbības laikā piedāvāja ražošanas plānu, lai samazinātu kopējo ražošanas laiku. Promocijas darbā tika eksperimentāli pārbaudīta dažādu pircēju pieprasījumu apstrāde, izvēle starp dažādiem piegādātājiem un daudzāģentu sistēmas lietošana no viena līdz trim mēnešiem, analizējot iegūtos rezultātus un salīdzinot ar rezultātiem, kas saņemti par cilvēka darbību.

5. **Eksperimentāli pierādīta izstrādātās sistēmas lietošanas efektivitāte.** Izstrādātās daudzāģentu sistēmas lietošanas efektivitāte tika novērtēta, izmantojot efektivitātes rādītājus: kopējais ražošanas laiks; krājumu uzglabāšanas izmaksas; pircēju pieprasījumu apstrādes laiks; servisa līmenis. Ražošanas aģenta ražošanas plānošanas un pārplānošanas rezultātā tika samazināts kopējais ražošanas laiks. Krājumu vadības aģenta algoritms ar prognozēto pieprasījumu un tā koriģēšanu, saņemot reālo pieprasījumu, uzrādīja labākus rezultātus, nekā bez prognozēšanas koriģēšanas vai salīdzinot ar cilvēka darbības rezultātiem, kā arī noteica pasūtīšanas punktus un drošības krājumus, šādi samazinot krājumu uzglabāšanas izmaksas. Savukārt starpmezglu mijiedarbībā daudzāģentu sistēma uzrādīja ātrākus rezultātus, salīdzinot ar cilvēka darbību.

Ņemot vērā promocijas darbā iegūtos rezultātus un veiktos eksperimentus, tika izdarīti vairāki secinājumi:

1. Daudzāģentu sistēmas tiek plaši izmantotas, bet katram gadījumam jāizveido jauna daudzāģentu sistēma. Izstrādātā daudzāģentu sistēma var tikt pielāgota dažādiem piegādes ķēdes dalībniekiem, jo ir piedāvāts atspoguļot katru piegādes ķēdes mezglu ar vienādu aģentu kopumu, kas aptver piegādes ķēdes funkcijas, nodrošinot piegādes ķēdes rādītāju uzlabošanu. Savukārt aģentu skaits var tikt izvēlēts katram lietojumam atsevišķi.
2. Piedāvātie veiktspējas rādītāji spēj noteikt izstrādātās daudzāģentu sistēmas lietošanas efektivitāti. Tie ir krājumu uzglabāšanas izmaksas, kopējais ražošanas laiks, pircēju pieprasījumu apstrādes laiks un servisa līmenis, un nepieciešamības gadījumā var pievienot arī citus efektivitātes rādītājus.
3. Piedāvātā ontoloģijas un informācijas koplietošanas izmantošana daudzāģentu sistēmā nodrošina jaunu, hibrīdu saziņas iespēju starp aģentiem, kad tie izvairās no saziņas nepieciešamības un izmanto cita aģenta darbībai nepieciešamo informāciju, tādējādi paātrinot daudzāģentu sistēmas darbību. Šādi tika apstiprināta pirmā hipotēze.
4. Ontoloģijas lietošana, izmantojot profila ontoloģiju katram atsevišķam lietojumam, nodrošināja daudzāģentu sistēmas atkārtotu lietošanu, izveidojot daudzāģentu sistēmas veidni piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanai un katru jaunu lietojumu kā ontoloģijas eksemplāru. Šādi tika apstiprināta otrā hipotēze.

Izstrādātās daudzāģentu sistēmas praktiskās lietošanas rezultāti ļauj secināt par tās efektivitāti.

Pēc promocijas darba iegūtajiem rezultātiem un secinājumiem var iezīmēt turpmāko pētījumu virzienus, lai attīstītu izstrādāto daudzāģentu sistēmu. Sistēmas produktivitāti iespējams uzlabot, Transportēšanas aģentam izmantojot RFID tehnoloģiju, Pārdošanas aģentam izstrādājot izsoles mehānismu. Turpmākajos pētījumos Krājumu vadības aģentam iespējams pievienot jaunus prognozēšanas algoritmus un pārbaudīt aģenta darbības efektivitāti. Vēl viens attīstības virziens var būt saistīts ar aģentu apmācības iespējām, lietojot to pielāgošanos nezināmai videi un uzvedības uzlabošanu. Šis pētījuma virziens interesē autori, un autore uzskata, ka apmācāmi aģenti piegādes ķēdes vadībai varētu piedāvāt jaunus sasniegumus efektivitātes uzlabošanā.

Izstrādātā daudzāģentu sistēma ir daudzāģentu sistēmas pirmā versija, kas pierādīja darbības efektivitāti, un laika gaitā tiks papildināta ar jaunām funkcijām un algoritmiem.

IZMANTOTĀS LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Ajitha, S., Prasad, M., Kumar, T. V. S. Auction using Multi-Agent System. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*. 2016, Vol. 5, Special Issue 2, pp. 165–168.
2. Agami, N., Saleh, M., Rasmy, M. Supply Chain Performance Measurement Approaches: Review and Classification. *IBIMA Publishing Journal of Organizational Management Studies*. 2012, pp. 1–20. Available from: [DOI: 10.5171/2012.872753](https://doi.org/10.5171/2012.872753).
3. Alkahtani, N. H., Almohsen, S., Alkahtani, N. M., Almalki, G. A. et al. A Semantic Multi-Agent system to Exchange Information between Hospitals. In: *8th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies, ANT-2017 and the 7th International Conference on Sustainable Energy Information Technology, SEIT 2017*, 16–19 May 2017, Madeira, Portugal, 2017, p. 704–709.
4. Alzoubi, H. Applying Electronic Supply Chain Management Using Multi-Agent System: A Managerial Perspective. *International Arab Journal of e-Technology*. 2010, vol. 1, no. 3, pp. 106–113.
5. AnyLogistics Supply Chain Software. *Supply Chain Digital Twins* [online], [viewed 31 January 2021]. Available from: <https://www.anylogistix.com/supply-chain-digital-twins/>.
6. Badica, C., Budimac, Z., Burkhard, H. D., Ivanovic, M. Software Agents: Languages, Tools, Platforms. *Computer Science and Information Systems*. 2011, vol. 8, no. 2, pp. 255–298.
7. Beer, M., Fasli, M., Richards, D. *Multi-Agent Systems for Education and Interactive Entertainment Multi-Agent Systems for Education and Interactive Entertainment: Design, Use and Experience*. Hershey, PA, USA: IGI Global, 2010, 330 p.
8. Bermejo-Alonso, J., Sanz, R. A Survey on Ontologies for Agents. In: *From Theory to Practice ASLab-ICEA-R*. 2006.
9. Bordini, R. H., Braubach, L., Dastani, M., Seghrouchni, A. E. F., et al. A Survey of Programming Languages and Platforms for Multi-agent Systems. *Informatica-(Ljubl.)*. 2006, vol. 30, no. 1, pp. 33–44.
10. Borst, Willem Nico. *Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse*. PhD thesis. Enschede, The Netherlands: Center for Telematics and Information Technology, University of Twente, 1997. 227 p.
11. Brank, J., Grobelnik, M., Mladenic, D. A survey of ontology evaluation techniques. In: *Proceedings of the Conference on Data Mining and Data Warehouses (SiKDD 2005), October 5th, 2015, Ljubljana, Slovenia*. Citeseer, vol. 17, 2005. Available from: https://ai.ia.agh.edu.pl/_media/pl/miw:2009:brankevaluationsikdd2005.pdf.
12. Cavazza, M., Mead S. J., Strachan A.I., Whittaker A. A Blackboard System for Interpreting Agent Messages. In: *Proceedings GameOn 2000: International Conference on Intelligent Games & Simulation, November 11–12, 2000, London, UK*. 2000.
13. Chae, B. Developing Key Performance Indicators for Supply Chain: an Industry Perspective. *Supply Chain Management*. 2009, vol. 14, Issue 6, pp. 422–428.

14. Chandra, C., Grabis, J. *Supply Chain Configuration: Concepts, Solutions, and Applications*. New York: Springer New York, 2016. 297 p.
15. Chen, Y. A Negotiation-based Multi-agent System for Supply Chain Management. In: *ACM Autonomous Agents workshop on Agent-based Decision-support for Managing the Internet-enabled Supply-chain*. Seattle, Washington, May 1, 1999, pp. 15–20.
16. Christopher, M. *Logistics and Supply Chain Management*. 5th ed. FT Press; 2016. 328 p.
17. Chopra, S. P. *Supply Chain Management. Strategy, Planning, and Operation*. 7th ed. Pearson, 2018. 528 p.
18. Corrales L. del C. Ng., Lambán, M. P., Korner, M. E. H, Royo, J. Overall Equipment Effectiveness: Systematic Literature Review and Overview of Different Approaches. *Applied Science*, 2020, 10, 6469.
19. Corkill, D. Blackboard systems. *AI Expert*. 1991, vol. 6, no. 9, pp. 40–47.
20. Dayal, S., Sherman, R. *Digital Twins: Through the Supply-Chain Looking Glass* [online]. SupplyChainBrain, 2019 [viewed 31 January 2021]. Available from: <https://www.supplychainbrain.com/blogs/1-think-tank/post/29926-digital-twins-through-the-supply-chain-looking-glass>.
21. Dong, J., Chen, S., Jeng, J.-J. Event-based blackboard architecture for multi-agent systems. In: *Proceedings of the International Symposium on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'05)*, Las Vegas, Nevada, USA, 4–6 April 2005. Vol. 2. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005, pp. 379–384.
22. Ganeshan, R., Harrison, T. P. *An Introduction to Supply Chain Management*. [online] Department of Management Sciences and Information Systems. Penn State University, University Park, Pennsylvania. 1995. [viewed 31 January 2021]. Available from: http://lcm.csa.iisc.ernet.in/scm/supply_chain_intro.html.
23. Giuffra, P., Cecilia, E., Silveira, R. A. A Multi-agent System Model to Integrate Virtual Learning Environments and Intelligent Tutoring Systems. *International Journal of Artificial Intelligence and Interactive Multimedia*, vol. 2, no. 1, 2013, pp. 51–58.
24. González-Briones, A., De La Prieta, F., Mohamad, M. S., Omatu, S. et al. Multi-Agent Systems Applications in Energy Optimization Problems: A State-of-the-Art Review, *Energies*, 2018, 11, 1928.
25. Gruber, T. R. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition*. 1993, vol. 5, no. 2, pp. 199–220.
26. Guarino, N., Oberle, D., Staab, S. What Is an Ontology? In: Staab S., Studer R. (eds) *Handbook on Ontologies*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009, pp. 1–17.
27. Gunasekaran, A., Patel, C., McGaughey, R. E. A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics*. 2004, vol. 87, no. 3, pp. 333–347.
28. Fox, M. S., Barbuceanu, M., Teigen, R. Agent-Oriented Supply-Chain Management. *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 2000, vol. 12, pp. 165–188.
29. Helaakoski, H., Kipinä, J., Haapasalo, H. An Agent Architecture for Steel Product Business Networks. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2004)*, Porto, Portugal, April 14-17, 2004, pp. 467–470.

30. Hervani, A., Helms, M. M., Sarkis, J. Performance Measurement for Green Supply Chain Management. *Benchmarking: An International Journal*. 2005, vol. 12, no. 4, pp. 330–353.
31. Intrieri, C. *9 Steps to Establish the Lean Supply Chain: A System of Interconnected & Interdependent Partners*, [online], Cerasis Globaltranz [viewed 31 January 2021]. Available from: <http://cerasis.com/2015/05/06/lean-supply-chain/>.
32. Jemal, H, Kechaou, Z., Ayed, M. B., Alimi, A. M. A Multi Agent System for Hospital Organization. *International Journal of Machine Learning and Computing*, Vol. 5, No. 1, 2015, pp. 51–56.
33. Jennings, N. R., Sycara, K., Wooldridge, M. A Roadmap of Agent Research and Development. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 1998, vol. 1, pp. 7–38.
34. Kesaniemi, J., Katasonov, A., Terziyan, V. An observation framework for multi-agent systems. *Fifth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems*. Valencia, 2009, pp. 336–341.
35. Kilpatrick, J. *COVID-19: Managing supply chain risk and disruption*, [online]. 2020 [viewed 31 January 2021]. Available from: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ca/Documents/finance/Supply-Chain_POV_EN_FINAL-AODA.pdf.
36. Kleijnen, J., Smits, M. Performance metrics in supply chain management. *Journal of the Operational Research Society*. 2003, vol. 54, pp. 507–514.
37. Kovalchuk, Y., Fasli, M. A Demand-Driven Approach for a Multi-Agent System in Supply Chain Management. In: David E., Gerding E., Sarne D., Shehory O. (eds) *Agent-Mediated Electronic Commerce. Designing Trading Strategies and Mechanisms for Electronic Markets. AMEC 2009, TADA 2009. Lecture Notes in Business Information Processing*, vol. 59. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 88–101.
38. Kravari, K., Bassiliades, N. *A Survey of Agent Platforms*. [online] *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 18 (1) 11, 2015, [viewed 31 January 2021]. Available from: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/1/11.html>.
39. Lavendelis, E. Extending the MASITS Methodology for General Purpose Agent Oriented Software Engineering. In: *Proceedings of the International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART-2015)*, Lisbon, Portugal, Vol. 2: ICAART, January 10–12, 2015, pp. 157–165.
40. Lavendelis, E., Grundspenkis, J. Multi-agent Auction Based Simulation Tool for an Insurance Policy Market. *Applied Computer Systems*. Vol. 15, 2014, pp. 5–13.
41. Lim, M. *The Difference Between Agile vs. Lean Supply Chain Management* [online]. Blog Procurify, 2014 [viewed 31 January 2021]. Available from: <http://blog.procurify.com/2014/04/22/agile-lean-supply-chain-management/>.
42. Lozano-Tello, A., Gómez-Pérez, A. “Ontometric: A method to choose the appropriate ontology”, *Journal of Database Management*, vol. 15, issue 2, pp. 1–18, 2004.
43. Maes, P. Artificial Life Meets Entertainment: Lifelike Autonomous Agents. *Communications of the ACM*. 1995, vol. 38, no. 11, pp. 108–114.

44. Marmolejo, J., Hurtado, M., Suarez-Valdes, R. Digital Twins in Supply Chain Management: A Brief Literature Review. *Intelligent Computing and Optimization*, 2020, pp. 653–661.
45. Melnyk, S. A., Narasimhan, R., DeCampos, H. A. Supply Chain Design: Issues, Challenges, Frameworks And Solutions. *International Journal of Production Research*, 2014, 52:7, pp. 1887–1896.
46. Melo, M. T., Nickel, S., Saldanha-da-Gama F. Facility Location and Supply Chain Management – a Review. *European Journal of Operational Research*. 2009, vol. 196, pp. 401–412.
47. Metzner, C., Cortez L., Chacin D. Using A Blackboard Architecture In A Web Application. *The Journal of Issues in Informing Science and Information Technology*. 2005, vol. 2, pp. 743–756.
48. Misra, V., Khan, M. I. Supply Chain Management Systems: Architecture, Design and Vision. *Journal of Strategic Innovation and Sustainability*. 2010, vol. 6, issue 4, pp. 96–101.
49. Moraitis, P., Spanoudakis, N. The Gaia2Jade process for multi-agent systems development. *Applied Artificial Intelligence*. 2006, vol. 20, issue 2–4, pp. 251–273.
50. Moreira J. J., Reis L. P. Multi-agent System for Teaching Service Distribution with Coalition Formation. In: Rocha Á., Correia A., Wilson T., Stroetmann K. (eds) *Advances in Information Systems and Technologies. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 206. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013, pp. 599–609.
51. Musen, M. A. and Protégé Team. The Protégé Project: A Look Back and a Look Forward. *AI Matters*. 2015, vol. 1, issue 4. Available from: <https://doi.org/10.1145/2757001.2757003>.
52. Myerson, P. *Lean Supply Chain and Logistics Management*. 1st Edition. MacGraw Hill Education, 2012. 288 p.
53. Naveen, B., Babu, T.R. Productivity Improvement Using Industrial Engineering Tools. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 2012, pp. 11–18.
54. Nwana, H. S., Software Agents: An Overview. *The Knowledge Engineering Review*. 1996, vol. 11, no. 3, pp. 205–244. Available from: <https://doi.org/10.1017/S026988890000789X>.
55. Oberholzer, J. J., Botha, R. A. How Agent Technologies Could Be Used In Supply Chain Management. In: *Proceedings of SAICSIT, Johannesburg, South Africa, 2003*. South African Institute for Computer Scientists and Information Technologists, 2003, pp. 111–121.
56. Odunayo, A., Adim, V. (2020). COVID-19 and Supply Chain Disruption: A Conceptual Review. *Asian Journal of Economics Business and Accounting*. 2020, vol. 19, no. 2, pp. 40–47.
57. Ono Y., Uchiyama H., Potter W. A mobile robot for corridor navigation: a multi-agent approach. In: *ACM Southeast Regional Conference Proceedings of the 42nd annual Southeast regional conference SESSION: Artificial intelligence. Huntsville Alabama*,

- April, 2004. Association for Computing Machinery, New York, United States, vol. 1, pp. 379–384.
58. Plinere, D., Aleksejeva, L. Agent System Application as a Tool for Inventory Management Improvement. In: *Proceedings of Eighth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control (ICSCCW-2015), Turkey, Antalya, 3–4 September, 2015*. b-Quadrat Verlag, 2015, pp. 157–166.
 59. Plinere, D., Aleksejeva, L. Production Scheduling in Agent-based Supply Chain for Manufacturing Efficiency Improvement. *Procedia Computer Science*. 2019, vol. 149, pp. 36–43. (ICTE in Transportation and Logistics 2018).
 60. Plinere, D. Blackboard Architecture Programming for Product Life Cycle Stage Definition. *Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science*. 2008, vol. 35, issue 5, pp. 70–75.
 61. Plinere, D., Borisov, A., Aleksejeva, L. Interaction of Software Agents in the Problem of Coordinating Orders. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2015, vol. 49, no. 5, pp. 268–276.
 62. Plinere, D., Borisov, A. A Negotiation-Based Multi-Agent System for Supply Chain Management. *Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science*. 2011, vol. 49, pp. 128–132.
 63. Plinere, D., Borisov, A. Case Study on Inventory Management Improvement. *Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science*. 2015, vol. 18, pp. 91–96.
 64. Plinere, D., Borisov, A. Development of Ontological Knowledge Model for Raw Materials Management Task. *Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science*. 2014, vol. 17, pp. 61–65.
 65. Plinere, D., Borisov, A. Evaluation of the Ontological Knowledge Model. *Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science*. 2014, vol. 17, pp. 81–85.
 66. Plinere, D., Borisov, A. The Golden Section Task as a Tool of Ontology Logical Inference. In: *Proceedings of Ninth International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing (ICAFS-2010), Czech Republic, Prague, 26–27 August, 2010*. Kaufering: b-Quadrat Verlag 86916 Kaufering, 2010, pp. 41–48.
 67. Plinere, D., Borisov, A. Ontology-Based Knowledge Acquisition System for Product Life Cycle Task. In: *Mendel 2009: Proceedings of 15th International Conference on Soft Computing, Czech Republic, Brno, 24–26 June, 2009*. Brno: Brno University of Technology, 2009, pp. 292–297.
 68. Plinere, D., Borisov, A. SWRL: Rule Acquisition Using Ontology. *Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science*. 2009, vol. 40, pp. 117–122.
 69. Plinere, D., Merkuryev, Y. Designing A Multi-Agent System For Improving Supply Chain Performance. In: A. Romanovs, D. Navakauskas, A.Senfelds (eds.) *Advances in*

- Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE): Proceedings of the 7th IEEE Workshop, Liepaja, Latvia, 15–16 November, 2019*. IEEE, 2019, pp. 62–68.
70. Porzel, R., Malaka, R. A Task-Based Approach for Ontology Evaluation. *ECAI Workshop Ontology Learning and Population (OLP)*. Valencia, Spain. 2004.
 71. Raka, C., Liangrokapt, J. Supply Chain Risk Management: a Case Study in Thailand. In: Kersten, W., Blecker, T.; Ringle, C. M. (eds.) *Innovations and Strategies for Logistics and Supply Chains: Technologies, Business Models and Risk Management : Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)*, No. 20, epubli GmbH, Berlin 2015, pp. 557–578.
 72. Robinson, A. *History & Academic Definition of Supply Chain and Logistics Management* [online], Cerasis Globaltranz [viewed 31 January 2021]. Available from: <https://cerasis.com/supply-chain-and-logistics-management/>.
 73. Rudenko, D., Borisov, A. Agents in Supply Chain Management: An Overview. *Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science*. 2006, vol. 28, pp. 123–133.
 74. Rudenko, D., Borisov, A. An Overview of Blackboard Architecture Application for Real Tasks. *Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science*. 2007, vol. 31, pp. 50–56.
 75. Rudenko D., Borisov, A. Blackboard architecture for product life cycle stage definition In: R. Matoušek (ed.) *Mendel 2008: Proceedings of 14th International Conference on Soft Computing, Czech Republic, Brno, 18–20 June, 2008*. Brno: Brno University of Technology, 2008, pp. 252–257.
 76. Russell, S. J., Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 4th Edition. Pearson, Englewood Cliffs, New Jersey, 2020. 1136 p.
 77. Sardinha, J. A. R. P., Molinaro, M. S., Paranhos, P. M., et al. A Multi-Agent Architecture for a Dynamic Supply Chain Management. In: *G. Sutcliffe, R. Goebel (eds.) Proceedings of the Nineteenth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference, Melbourne Beach, Florida, USA, May 11–13, 2006*. AAAI Press, 2006, pp. 178–179.
 78. Scheuermann, A., Leukel, J. Supply Chain Management Ontology from an Ontology Engineering Perspective. *Computers in Industry*. 2014, vol. 65, no. 6, pp. 913–923.
 79. Serra, I., Girardi, R. A Process for Extracting Non-Taxonomic Relationships of Ontologies from Text. *Intelligent Information Management*. 2011, vol. 3, no. 4, pp. 119–124.
 80. Shakshuki, E., Reid, M. Multi-agent System Applications in Healthcare: Current Technology and Future Roadmap. *The 6th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT-2015), the 5th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT-2015)* vol. 52, 2015, pp. 252–261.
 81. Sharma, A., Maheshwari, R., Juneja, A., Rajput, J. R. Calculation and Improvement of Overall Equipment Effectiveness (OEE) of A Model Machine in A Production Line. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, vol. 5 issue 5, 2017.

82. Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., Simchi-Levi, E. *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies*. 3rd Edition. McGraw-Hill. 2008, 528 p.
83. Soshko, O., Vjakse, V., Merkurjev, Y. Modelling Inventory Management System at Distribution Company: Case Study. *Scientific Journal of Riga Technical University, Information Technology and Management Science*. 2010, vol. 44, pp. 87–93.
84. Studer, R., Benjamins, R., Fensel, D. Knowledge Engineering: Principles and Methods. *Data & Knowledge Engineering*. 1998, vol. 25, issue 1–2, pp. 161–197.
85. Swaminathan, J. M., Smith, S. F., Sadeh, N. M. Modeling Supply Chain Dynamics: A Multi-Agent Approach. *Decision Sciences*. 1998, vol. 29, no. 3.
86. Tatum, M. *What Is Raw Materials Management?* [online] WiseGEEK, [viewed 3 February 2021]. Available from: <http://www.wisegeek.com/what-is-raw-materials-management.htm>.
87. Tietze, A.-C., Cirullies, J., Otto, B. Automotive Supply-Chain Requirements for a Time-Critical Knowledge Management. In: Kersten, W., Blecker, T.; Ringle, C. M. (eds.) *Digitalization in Supply Chain Management and Logistics: Smart and Digital Solutions for an Industry 4.0 Environment: Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)*, No. 23, epubli GmbH, Berlin, 2017, pp. 467–489.
88. Thierry, C., Bel, G., Thomas, A. Supply Chain Management Simulation: An Overview. In: C. Thierry, A. Thomas, G. Bel (eds.) *Simulation For Supply Chain Management*. 1st Edition. ISTE and John Wiley & Sons, 2008, pp. 1–36.
89. Thilakarathna, R. H., Dharmawardana, M. N., & Rupasinghe, T. The Supply Chain Operations Reference (SCOR) model: A Systematic Review of Literature from the Apparel Industry. In: *Proceedings of 12th International Conference on Business Management, (ICBM) 2015*, December 7–8, 2015, Colombo, Sri Lanka, pp. 1–25.
90. Van Liere R., Harkes J., de Leeuw W. A Distributed Blackboard Architecture For Interactive Data Visualization. In: *Proceedings of the conference on Visualization '98*. 18–23 Oct. 1998, Research Triangle Park, NC, USA, IEEE, pp. 225–231.
91. Vidal, J. M., Buhler, P. A., Huhns, M. N. Inside an Agent. *IEEE Internet Computing*. 2001, vol. 5, no. 1, pp. 82–86.
92. Vita, M. A., Walko, J., Banerjee, S., Held, M. et al. *Repurpose Your Supply Chain*, [online]. Accenture, April 2020 [viewed 31 January 2021]. Available from: https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-121/Accenture-COVID-19-Repurpose-Supply-Chain.pdf.
93. Voigt, K. I., Müller, J. M., Veile J. W, Schmidt, M. C. Sharing Information Across Company Borders in Industry 4.0. In: Kersten, W., Blecker, T.; Ringle, C. M. (eds.) *Artificial Intelligence and Digital Transformation in Supply Chain Management: Innovative Approaches for Supply Chains, Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)*, No. 27, epubli GmbH, Berlin, 2019, pp. 57–86.
94. Vorne. *OEE (Overall Equipment Effectiveness)* [online]. Lean production made easy by Vorne, [viewed 31 January 2021]. Available from: <https://www.leanproduction.com/oehtml>.

95. Vrandečić, Denny. *Ontology Evaluation*. PhD thesis. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie, 2010. 235 p.
96. Williamson, D. P., Shmoys, D. B. *The Design of Approximation Algorithms*. Cambridge University Press, 2011, 504 p.
97. Wooldridge, M. *An Introduction to MultiAgent Systems*. 2nd Edition. John Wiley & Sons, 2009. 484 p.
98. Wooldridge, M. In: Mařík V., Štěpánková O., Krautwurmová H., Luck M. (eds) Multi-Agent Systems and Applications II. ACAI 2001. Lecture Notes in Computer Science, vol 2322. Springer, Berlin, Heidelberg. 2002, pp. 3–43. Available from: https://doi.org/10.1007/3-540-45982-0_1.
99. Xie, J., Liu, C. C. Multi-agent Systems and Their Applications. *Journal of International Council on Electrical Engineering*, vol. 7, no. 1, 2017, pp. 188–197.
100. Zhu, Xiaozhou. Agent Based Modeling for Supply Chain Management: Examining the Impact of Information Sharing. *Electronic Thesis or Dissertation. Kent State University, OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center*. 2008.
101. Бессмертный, И. А. Системы искусственного интеллекта: Учебное пособие для академического бакалавриата. 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. 130 с.
102. Плинере, Д., Борисов, А., Алексева, Л. Взаимодействие программных агентов в задаче согласования заказов. *Автоматика и вычислительная техника*. 2015, т. 49, № 5, с. 23–34.
103. Плинере, Д. Интеллектуальность агентной системы для управления закупками и запасами в цепи поставок. In: *International Conference “Information Intelligent Systems”, Kharkiv, Ukraine, 17–19 April, 2012*. vol. 6, Kharkiv: 2012, pp. 148–149.
104. Хахалин, Г. Предметная онтология для понимания текстов геометрических задач. По материалам ежегодной международной конференции «Диалог», Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии, 2008, Выпуск 7 (14) Режим доступа: <http://www.dialog-21.ru/media/1818/khakhalin.pdf>.
105. Хахалин, Г. Прикладная онтология на языке гиперграфов. II Всероссийская конференция «Знания – Онтологии – Теории» (ЗОНТ-09), 20–22 октября 2009 г., Новосибирск, Россия 2009. Режим доступа: <http://www.math.nsc.ru/conference/zont09/reports/21Hahalin.pdf>.

PIELIKUMI

A* algoritma piemērs

```
public class AStarAlgorithm{
    public static void main(String[] args){
        Node n1 = new Node("1",0);
        Node n2 = new Node("2",10);
        Node n3 = new Node("3",14);
        Node n4 = new Node("4",20);
        Node n5 = new Node("5",18);
        Node n6 = new Node("6",25);
        Node n7 = new Node("7",15);
        Node n8 = new Node("8",10);

        n1.adjacencies = new Edge[]{
            new Edge(n2,75),
            new Edge(n4,140),
        };
        n2.adjacencies = new Edge[]{
            new Edge(n1,75),
            new Edge(n3,71)
        };
        n3.adjacencies = new Edge[]{
            new Edge(n2,71),
            new Edge(n4,151)
        };
        n4.adjacencies = new Edge[]{
            new Edge(n1,140),
            new Edge(n5,99),
            new Edge(n3,151),
            new Edge(n6,80),
        };
        n5.adjacencies = new Edge[]{
            new Edge(n4,99),
            new Edge(n13,211)
        };
        n6.adjacencies = new Edge[]{
            new Edge(n4,80),
            new Edge(n7,97),
            new Edge(n12,146)
        };
        n7.adjacencies = new Edge[]{
            new Edge(n6,97),
            new Edge(n13,101),
            new Edge(n12,138)
        };
        n8.adjacencies = new Edge[]{
            new Edge(n1,118),
            new Edge(n9,111)
        };
        n9.adjacencies = new Edge[]{
            new Edge(n8,111),
            new Edge(n10,70)
        };
        n10.adjacencies = new Edge[]{
            new Edge(n9,70),
            new Edge(n11,75)
        };
        AstarSearch(n1,n10);
        List<Node> path = printPath(n13);
        System.out.println("Path: " + path);
    }
    public static List<Node> printPath(Node target){
        List<Node> path = new ArrayList<Node>();
        for(Node node = target; node!=null; node = node.parent){
            path.add(node);
        }
        Collections.reverse(path);
        return path;
    }
    public static void AstarSearch(Node source, Node goal){
        Set<Node> explored = new HashSet<Node>();
        PriorityQueue<Node> queue = new PriorityQueue<Node>(20,
            new Comparator<Node>(){
```

```

        //override compare method
public int compare(Node i, Node j){
    if(i.f_scores > j.f_scores){
        return 1;
    }
    else if (i.f_scores < j.f_scores){
        return -1;
    }
    else{
        return 0;
    }
}
    }
    );
source.g_scores = 0;
queue.add(source);
boolean found = false;
while((!queue.isEmpty())&&(!found)){
    Node current = queue.poll();
    explored.add(current);
    if(current.value.equals(goal.value)){
        found = true;
    }
    for(Edge e : current.adjacencies){
        Node child = e.target;
        double cost = e.cost;
        double temp_g_scores = current.g_scores + cost;
        double temp_f_scores = temp_g_scores + child.h_scores;
        if((explored.contains(child)) &&
            (temp_f_scores >= child.f_scores)){
            continue;
        }
        else if((!queue.contains(child)) ||
            (temp_f_scores < child.f_scores)){
            child.parent = current;
            child.g_scores = temp_g_scores;
            child.f_scores = temp_f_scores;
            if(queue.contains(child)){
                queue.remove(child);
            }
            queue.add(child);
        }
    }
}
}
}
class Node{
    public final String value;
    public double g_scores;
    public final double h_scores;
    public double f_scores = 0;
    public Edge[] adjacencies;
    public Node parent;

    public Node(String val, double hVal){
        value = val;
        h_scores = hVal;
    }
    public String toString(){
        return value;
    }
}

class Edge{
    public final double cost;
    public final Node target;

    public Edge(Node targetNode, double costVal){
        target = targetNode;
        cost = costVal;
    }
}
}

```

Agentu programmas kodi

```
public class ProcurementGuiImpl extends JFrame implements ProcurementGui {
    private Procurement myAgent;
    private JTextField titleTF, quantityTF, deadlineTF;
    private JButton setDeadlineB;
    private JButton buyB, resetB, exitB;
    private JTextArea logTA;
    private Date deadline;

    public void setAgent(Procurement a) {
        myAgent = a;
        setTitle(myAgent.getName());
    }
    public ProcurementGuiImpl() {
        super();
        addWindowListener(new WindowAdapter() {
            public void windowClosing(WindowEvent e) {
                myAgent.doDelete();
            }
        });
        JPanel rootPanel = new JPanel();
        rootPanel.setLayout(new GridBagLayout());
        rootPanel.setMinimumSize(new Dimension(400, 125));
        rootPanel.setPreferredSize(new Dimension(400, 125));
        JLabel l = new JLabel("Raw Material:");
        l.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
        GridBagConstraints gridBagConstraints = new GridBagConstraints();
        gridBagConstraints.gridx = 0;
        gridBagConstraints.gridy = 0;
        gridBagConstraints.anchor = java.awt.GridBagConstraints.NORTHWEST;
        gridBagConstraints.insets = new java.awt.Insets(5, 3, 0, 3);
        rootPanel.add(l, gridBagConstraints);

        titleTF = new JTextField(64);
        titleTF.setMinimumSize(new Dimension(222, 20));
        titleTF.setPreferredSize(new Dimension(222, 20));
        GridBagConstraints = new GridBagConstraints();
        GridBagConstraints.gridx = 1;
        GridBagConstraints.gridy = 0;
        GridBagConstraints.gridwidth = 3;
        GridBagConstraints.anchor = GridBagConstraints.NORTHWEST;
        GridBagConstraints.insets = new Insets(5, 3, 0, 3);
        rootPanel.add(titleTF, GridBagConstraints);
        l = new JLabel("Quantity:");
        l.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
        GridBagConstraints = new GridBagConstraints();
        GridBagConstraints.gridx = 0;
        GridBagConstraints.gridy = 1;
        GridBagConstraints.anchor = java.awt.GridBagConstraints.NORTHWEST;
        GridBagConstraints.insets = new java.awt.Insets(5, 3, 0, 3);
        rootPanel.add(l, GridBagConstraints);
        quantityTF = new JTextField(64);
        quantityTF.setMinimumSize(new Dimension(222, 20));
        quantityTF.setPreferredSize(new Dimension(222, 20));
        GridBagConstraints = new GridBagConstraints();
        GridBagConstraints.gridx = 1;
        GridBagConstraints.gridy = 1;
        GridBagConstraints.gridwidth = 3;
        GridBagConstraints.anchor = GridBagConstraints.NORTHWEST;
        GridBagConstraints.insets = new Insets(5, 3, 0, 3);
```

```

rootPanel.add(quantityTF, gridBagConstraints);
l = new JLabel("Deadline:");
l.setHorizontalAlignment(SwingConstants.LEFT);
gridBagConstraints = new GridBagConstraints();
gridBagConstraints.gridx = 0;
gridBagConstraints.gridy = 2;
gridBagConstraints.anchor = java.awt.GridBagConstraints.NORTHWEST;
gridBagConstraints.insets = new java.awt.Insets(5, 3, 0, 3);
rootPanel.add(l, gridBagConstraints);
deadlineTF = new JTextField(64);
deadlineTF.setMinimumSize(new Dimension(146, 20));
deadlineTF.setPreferredSize(new Dimension(146, 20));
deadlineTF.setEnabled(false);
gridBagConstraints = new GridBagConstraints();
gridBagConstraints.gridx = 1;
gridBagConstraints.gridy = 2;
gridBagConstraints.gridwidth = 2;
gridBagConstraints.anchor = GridBagConstraints.NORTHWEST;
gridBagConstraints.insets = new Insets(5, 3, 0, 3);
rootPanel.add(deadlineTF, gridBagConstraints);
setDeadlineB = new JButton("Set");
setDeadlineB.setMinimumSize(new Dimension(70, 20));
setDeadlineB.setPreferredSize(new Dimension(70, 20));
setDeadlineB.addActionListener(new ActionListener() {
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {
        Date d = deadline;
        if (d == null) {
            d = new Date();
        }
        TimeChooser tc = new TimeChooser(d);
        if (tc.showEditTimeDlg(ProcurementGuiImpl.this) == TimeChooser.OK) {
            deadline = tc.getDate();
            deadlineTF.setText(deadline.toString());
        }
    }
});
gridBagConstraints = new GridBagConstraints();
gridBagConstraints.gridx = 3;
gridBagConstraints.gridy = 2;
gridBagConstraints.anchor = GridBagConstraints.NORTHWEST;
gridBagConstraints.insets = new Insets(5, 3, 0, 3);
rootPanel.add(setDeadlineB, gridBagConstraints);
rootPanel.setBorder(new BevelBorder(BevelBorder.LOWERED));
getContentPane().add(rootPanel, BorderLayout.NORTH);
logTA = new JTextArea();
logTA.setEnabled(false);
JScrollPane jsp = new JScrollPane(logTA);
jsp.setMinimumSize(new Dimension(300, 180));
jsp.setPreferredSize(new Dimension(300, 180));
JPanel p = new JPanel();
p.setBorder(new BevelBorder(BevelBorder.LOWERED));
p.add(jsp);
getContentPane().add(p, BorderLayout.CENTER);
p = new JPanel();
buyB = new JButton("Buy");
buyB.addActionListener(new ActionListener() {
    public void actionPerformed(ActionEvent e) {
        String title = titleTF.getText();
        int quantity = -1;
        if (title != null && title.length() > 0) {
            quantity = Integer.parseInt(quantityTF.getText());
            if (quantity > 0) {
                if (deadline != null && deadline.getTime() >
System.currentTimeMillis()) {

```

```

        myAgent.purchase(title, quantity, deadline);
        notifyUser("PUT FOR BUY: "+title+" at
quantity: "+quantity+" by "+deadline); }
        else {
            // No deadline specified
            JOptionPane.showMessageDialog(ProcurementGuiImpl.this,
"Invalid deadline", "WARNING", JOptionPane.WARNING_MESSAGE);
        }
    }
    else {
        // No quantity specified
        JOptionPane.showMessageDialog(ProcurementGuiImpl.this,
"Invalid quantity", "WARNING", JOptionPane.WARNING_MESSAGE);
    }
}
else {
    // No book title specified
    JOptionPane.showMessageDialog(ProcurementGuiImpl.this, "No
microchip specified", "WARNING", JOptionPane.WARNING_MESSAGE);
}
}
} );

resetB = new JButton("Reset");
resetB.addActionListener(new ActionListener(){
public void actionPerformed(ActionEvent e) {
    titleTF.setText("");
    quantityTF.setText("");
    deadlineTF.setText("");
    deadline = null;
}
} );
exitB = new JButton("Exit");
exitB.addActionListener(new ActionListener(){
public void actionPerformed(ActionEvent e) {
    myAgent.doDelete();
}
} );

buyB.setPreferredSize(resetB.getPreferredSize());
exitB.setPreferredSize(resetB.getPreferredSize());

p.add(buyB);
p.add(resetB);
p.add(exitB);

p.setBorder(new BevelBorder(BevelBorder.LOWERED));
getContentPane().add(p, BorderLayout.SOUTH);

pack();

setResizable(false);
}

public void notifyUser(String message) {
    logTA.append(message+"\n");
}
}

```

3. pielikums

Izziņa par promocijas darba rezultātiem



AS "RD ALFA Mikroelektronikas departaments"

Reģ.Nr. (VAT, ID) 40003599743

Maskavas iela 240, Rīga, LV-1063, Latvija

Tel.: (+371) 67109400

e-mail: info@rdalfa.lv

www.rdalfa.lv

Izziņa par promocijas darba rezultātu ieviešanu un izmantošanu uzņēmumā AS „RD Alfa mikroelektronikas departaments”

Darjas Plineres promocijas darba “Daudzaģentu sistēmas izstrādāšana piegādes ķēdes vadības efektivitātes uzlabošanai”, kas tiek izvirzīts inženierzinātņu doktora grāda (PhD) iegūšanai, izstrādātā daudzģentu sistēma tika aprobēta uz uzņēmuma datiem. Pētījumu gaitā iegūtie rezultāti tika novērtēti un analizēti:

1. Krājumu vadības aģenta darbības rezultātā tika samazināti krājumi un ar to saistītas izmaksas;
2. Ražošanas aģenta darbības rezultātā tika izveidots plāns kopējā ražošanas laika samazināšanai, šādi samazinot saistītas izmaksas;
3. Iepirkuma un Pārdošanas aģentu darbību rezultātā pieprasījumu apstrādes laiks būtiski samazinājies; tiek sagaidīts, ka piegādes ķēdes dalībnieki izmantos izstrādāto daudzģentu sistēmu.

Atbilstoši saņemtiem izpētes rezultātiem tika pieņemts lēmums turpināt izmantot izstrādāto daudzģentu sistēmu uzņēmuma tālākai piegādes ķēdes vadības procesa efektivitātes uzlabošanai.

AS „RD Alfa mikroelektronikas departaments”

Direktors



M. Lapkis

4. pielikums

Autora ieguldījums zinātniskajās publikācijās

Nr.p.k.	Darba nosaukums	Publicēts	Ieguldījums
1.	Plinere, D., Merkurjev, Y. Designing A Multi-Agent System For Improving Supply Chain Performance.	A. Romanovs, D. Navakauskas, A.Senfels (eds.) Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE): Proceedings of the 7th IEEE Workshop, Liepaja, Latvia, 15–16 November, 2019. IEEE, 2019, pp. 62–68.	Plinere – 90%
2.	Plinere, D., Aleksejeva, L. Production Scheduling in Agent-based Supply Chain for Manufacturing Efficiency Improvement.	Procedia Computer Science. 2019, vol. 149, pp. 36–43. (ICTE in Transportation and Logistics 2018).	Plinere – 90%
3.	Plinere, D., Borisovs, A. Case Study on Inventory Management Improvement.	Information Technology and Management Science. 2015, vol. 18, pp. 91–96.	Plinere – 90%
4.	Plinere, D., Aleksejeva, L. Agent System Application as a Tool for Inventory Management Improvement.	Proceedings of Eighth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control (ICSCCW-2015), Turkey, Antalya, 3–4 September, 2015. b- Quadrat Verlag, 2015, pp. 157–166	Plinere – 90%
5.	Plinere, D., Borisov, A., Aleksejeva, L. Взаимодействие программных агентов в задаче согласования заказов.	Автоматика и вычислительная техника. 2015, т. 49, № 5, с. 23–34.	Plinere – 88%
6.	Plinere, D., Borisov, A., Aleksejeva, L. Interaction of Software Agents in the Problem of Coordinating Orders.	Automatic Control and Computer Sciences. 2015, vol. 49, no. 5, pp. 268-276.	Plinere – 88%
7.	Plinere, D., Borisov, A. Development of	Information Technology and Management Science. 2014,	Plinere – 90%

Nr.p.k.	Darba nosaukums	Publicēts	Ieguldījums
	Ontological Knowledge Model for Raw Materials Management Task.	vol. 17, pp. 61–65.	
8.	Plinere, D., Borisov, A. Evaluation of the Ontological Knowledge Model.	Information Technology and Management Science. 2014, vol. 17, pp. 81–85.	Plinere – 90%
9.	Плинере, Д. Интеллектуальность агентной системы для управления закупками и запасами в цепи поставок.	International Conference “Information Intelligent Systems”, Kharkiv, Ukraine, 17–19 April, 2012. Vol.6, Kharkiv: 2012, pp. 148–149.	Plinere – 100%
10.	Plinere, D., Borisov, A. A Negotiation-Based Multi-Agent System for Supply Chain Management.	Information Technology and Management Science. 2011, vol. 49, pp. 128–132.	Plinere – 90%
11.	Plinere, D., Borisov, A. The Golden Section Task as a Tool of Ontology Logical Inference.	Proceedings of Ninth International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing (ICAFS-2010), Czech Republic, Prague, 26–27 August, 2010. Kaufering: b-Quadrat Verlag, 2010, pp. 41–48.	Plinere – 90%
12.	Plinere, D., Borisov, A. Ontology-Based Knowledge Acquisition System for Product Life Cycle Task.	Mendel 2009: Proceedings of 15th International Conference on Soft Computing, Czech Republic, Brno, 24–26 June, 2009. Brno: Brno University of Technology, 2009, pp. 292–297.	Plinere – 90%
13.	Plinere, D., Borisov, A. SWRL: Rule Acquisition Using Ontology.	Information Technology and Management Science. 2009, vol. 40, pp. 117–122.	Plinere – 90%
14.	Plinere, D. Blackboard Architecture Programming for Product Life Cycle Stage Definition.	Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science. 2008, vol. 35, issue 5, pp. 70–75.	Plinere – 100%
15.	Rudenko D., Borisov A. Blackboard Architecture for Product Life Cycle	R. Matoušek (ed.) Mendel 2008: Proceedings of 14th International Conference on Soft Computing,	Rudenko – 90%

Nr.p.k.	Darba nosaukums	Publicēts	Ieguldījums
	Stage Definition.	Czech Republic, Brno, 18–20 June, 2008. Brno: Brno University of Technology, 2008, pp. 252–257.	
16.	Rudenko D., Borisov A. An Overview of Blackboard Architecture Application for Real Tasks.	Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science. 2007, vol. 31, issue 5, pp. 50–56.	Rudenko – 90%
17.	Rudenko, D., Borisov, A. Agents in Supply Chain Management: An Overview.	Scientific Journal of Riga Technical University. Information Technology and Management Science. 2006, vol. 27, issue 5, pp. 123–133.	Rudenko – 85%