

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultāte
Informācijas tehnoloģijas institūts

Oksana Soško

Doktora studiju programmas „Informācijas tehnoloģija” doktorante

**MODELĒŠANĀ SAKŅOTA DAUDZEŠELONU PIEGĀDES
ĶĒŽU TAKTISKĀ VADĪŠANA**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji:
Dr. habil. sc. ing., prof.
J. MERKURJEVS

Prof. dr. ir.
H. VAN LANDEGHEM

RTU Izdevniecība
Rīga 2014

UDK 658.7+004.94](043.2)
So 740 m

Soško O. Modelēšanā sakņota daudzšelonu piegādes ķēžu taktiskā vadīšana. Promocijas darba kopsavilkums.-R.: RTU, 2014.-38 lpp.

Iespiests saskaņā ar Informācijas Tehnoloģijas institūta 2013. gada 5. aprīļa Padomes sēdes lēmumu, protokols Nr. 13-03.



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projekta “Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai” projekta “Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai” ietvaros.

ISBN 978-9934-10-587-6

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ
INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2014. gada 22. septembrī plkst. 14:30 Rīgas Tehniskās universitātes Datorzinātnes un informācijas tehnoloģijas fakultātē, Meža ielā 1, 3. korpusā, 202. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr. habil. sc. ing. Zigurds Markovičs
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Profesors, Dr. sc. ing. Egils Stalidzāns
Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Latvija

Profesors, Dr. inz. Krzysztof Amborski
Varšavas Tehniskā universitāte, Polija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Oksana Soško (*paraksts*)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 11 pielikumus, 36 tabulas, 48 attēlus, kopā 145 lappuses. Literatūras sarakstā ir 130 nosaukumi.

VISPĀRĪGS DARBA RAKSTUROJUMS

Ievads un tēmas aktualitāte

Neskatoties uz pētījumu, metožu un programmproduktu daudzveidību, problēma par efektīvu metožu izmantošanu uzņēmumu piegādes ķēžu vadīšanā joprojām ir aktuāla. Pie tam, Latvijas uzņēmējdarbības specifika, t.i., vidējo un mazo uzņēmumu dominējošais īpatsvars, definē šai problēmai papildus finanšu ierobežojumu. Tādējādi aktualizējas nepieciešamība pēc piegādes ķēžu sistematizētas vadīšanas pieejas, kas, apvienojot piegādes ķēžu vadības līdzekļus, metodes un instrumentus, nodrošinātu pamatotu lēmumu pieņemšanu piegādes ķēžu vadīšanā. Piegādes ķēžu darbību ietekmējošo parametru nenoteiktais un mainīgais raksturs definē šim pētījumam nosacījumu, kas ir saistīts ar tādu līdzekļu analīzi un izvēli, kuri ļautu risināt piegādes ķēdes vadīšanas uzdevumus un atbalstītu lēmumu pieņemšanu nenoteiktības apstākļos. Papildus prasība šādam pētījumam, ko nosauc loģistikas speciālisti, ir saistīta ar šīs pieejas zināmu vienkāršību, jo aktuālo uzdevumu un atbalstāmo funkciju daudzveidībā ir grūti sekot līdz ziņātnisku sasniegumu izmantošanas priekšnoteikumiem un izprast piedāvāto risinājumu būtību.

Promocijas darbā ir veikts pētījums par piegādes ķēžu taktisko vadīšanas uzdevumu risināšanu, izmantojot modelēšanas pieeju daudzveidību. Tas ļauj nodrošināt matemātiski pamatotu lēmumu pieņemšanu daudzveidīgu piegādes ķēdēs, kas darbojas klientu pieprasījuma un pasūtījuma izpildes laika nenoteiktības apstākļos, kuri ir pamata stohastiskie lielumi piegādes ķēžu taktiskajā vadīšanā.

Promocijas darba veiktajos pētījumos ir risināts piegādes ķēžu taktiskās vadīšanas pamata uzdevums, t.i., krājumu vadīšana daudzveidīgu piegādes ķēdē. Šī vadīšanas uzdevuma mērķis ir nodrošināt vēlamu gala patērētāja apkalpošanas līmeni ar minimālām kopējām krājumu izmaksām, sadalot visus krājumus piegādes ķēdes vairākos ešelonos. Tas ļauj panākt efektīvāku krājumu vadīšanu, samazinot garantijas krājumu un pātagas efektu piegādes ķēdē.

Daudzešelonu piegādes ķēdes krājumu vadīšanas priekšnosacījumi ir tieši saistīti ar informācijas tehnoloģijas risinājumu un piegādes ķēžu informācijas sistēmu attīstību. Daudzešelonu piegādes ķēdes krājumu vadīšana paredz optimizācijas un, vēlams, arī imitācijas modeļa izstrādi, kas var papildināt uzņēmuma informācijas sistēmas funkcionalitāti ar jaunām analītiskām iespējām. Daudzešelonu piegādes ķēdes krājumu vadīšana paredz optimizācijas modeļu izstrādi, jo klasiskie krājumu vadības algoritmi ir paredzēti viena ešelona krājumu vadīšanai un to izmantošana daudzveidīgu piegādes ķēdē nav efektīva, īpaši tai darbojoties nenoteiktības apstākļos. Pieprasījuma un pasūtījuma izpildes laika stohastiskā rakstura dēļ promocijas darbā īpaša uzmanība ir pievērsta stohastiskās optimizācijas scenāriju pieejai, kurā stohastiskās vērtības ir definētas scenāriju koka veidā.

Darba mērķis un uzdevumi

Promocijas darba mērķis ir modelēšanā sakņotas daudzvešelonu piegādes ķēžu taktiskās vadīšanas pieejas izstrāde. Izvirzītā mērķa sasniegšanai ir definēti šādi pētījuma uzdevumi:

1. Izanalizēt piegādes ķēžu vadīšanas kritērijus, attīstības tendences un informācijas sistēmu funkcionalitāti.
2. Izpētīt modelēšanas pieeju izmantošanu piegādes ķēžu vadīšanā.
3. Formulēt modelēšanā sakņotas piegādes ķēdes vadīšanas pieeju.
4. Izstrādāt modelēšanā sakņotu pieeju daudzvešelonu piegādes ķēžu krājumu vadības uzdevuma risināšanas atbalstam.
5. Izstrādāt krājumu vadības modeļus daudzvešelonu piegādes ķēdei ar stohastisko pieprasījumu un pasūtījuma izpildes laiku.
6. Veikt izstrādātās pieejas aprobāciju daudzvešelonu piegādes ķēdes vadības uzdevumā.

Aizstāvēšanai izvirzāmās tēzes

1. Stohastiskās programmēšanas scenāriju pieejas izmantošana daudzvešelonu piegādes ķēžu krājumu optimizācijas uzdevumā ar stohastisko pieprasījumu.
2. Modeļu komplekss, kas īsteno modelēšanā sakņotu daudzvešelonu piegādes ķēžu krājumu optimizāciju.
3. Stohastiskās programmēšanas scenāriju pieejas izmantošana daudzvešelonu piegādes ķēžu krājumu vadīšanas uzdevumos ļauj risināt krājumu vadības uzdevumus ar stohastisko pieprasījumu un piegādes laiku taktiskās plānošanas periodā.

Pētījuma objekts un priekšmets

Promocijas darba pētījuma objekts ir daudzvešelonu piegādes ķēžu ar stohastisko pieprasījumu taktiskā vadīšana. Darba pētījuma priekšmets ir daudzvešelonu piegādes ķēdes krājumu vadības uzdevums ar stohastisko pieprasījumu. Promocijas darba ierobežojumi ir šādi:

1. Pētījumos ir izskatīti viena produkta krājumu vadības modeļi.
2. Promocijas darbā risināmie uzdevumi un izstrādātie modeļi nepieder stohastiskās vadības un gadījuma meklēšanas uzdevumu klasei.

Darba izmantotas pētījumu metodes

Promocijas darba pētniecisko pamatu veidoja vairāki teorētiski un metodoloģiski darbi piegādes ķēžu vadīšanas jomā. Šīs problēmas savās monogrāfijās aktualizēja tādi ārzemju zinātnieki kā *R. Ballou*, *M. Christopher*, *D. Simchi-Levi*, kā arī Latvijas zinātnieki *Sprancmanis N.*, *Krūmiņš N.*, *Grabis J.*, *Praude V.*, *Beļčikovs*, *Gringlāzs L.*, *Kopitovs J.* u.c. Modelēšanas un optimizācijas pētījuma fundamentālo pamatu veidoja tādu autoru darbi kā *S. Robinson*, *J. R. Birgs*, kā arī *Nico Di Domenica*, *A. Shapiro* u.c. Promocijas darba teorētiskie pētījumi balstās uz specializētas literatūras un profesionālo

periodisko izdevumu analīzi. Praktisko pētījumu gaitā piegādes ķēžu modelēšanai ir izmantota diskrētu notikumu sistēmu imitācijas modelēšanas tehnoloģija, Montekarlo modeļi un stohastiskās programmēšanas metodes. Piegādes ķēžu nenoteiktības modelēšanai un darbības rezultātu novērtēšanai ir izmantotas scenāriju ģenerēšanas, matemātiskās statistiskas un varbūtību teorijas metodes. Piegādes ķēžu taktiskās vadīšanas uzdevumu risināšana balstās uz operāciju pētīšanas metodēm, tai skaitā krājumu vadības algoritmiem.

Darba zinātniskais jaunieguvums

Izstrādātā promocijas darba jaunieguvums ir šāds:

1. Izstrādāta modelēšanā sakņota daudzvešelonu piegādes ķēžu taktiskās vadīšanas pieeja.
2. Izstrādātās pieejas pielietošana daudzvešelonu piegādes ķēžu krājumu vadīšanas uzdevumā ļauj atteikties no normālā sadalījuma izmantošanas krājumu vadības modeļu pieprasījuma un pasūtījuma izpildes laika aprakstīšanai un definēt tos scenāriju koka veidā.
3. Izlases vidējā aproksimācijas metodes īstenošana piegādes ķēdes imitācijas modelī ļauj vienlaicīgi novērtēt optimizācijas rezultātus un sistēmas darbību ar optimizētiem vadības parametriem.

Pētījumu izstrādes gaitā ir sasniegti arī citi starprezultāti, kas skar piegādes ķēdes krājumu vadības optimizācijas modeļa izstrādi, izmantošanu un rezultātu novērtēšanu: ir veikta stohastiskās programmēšanas uzdevuma risinājuma novērtēšana pēc vidējā aproksimācijas metodes, vienkāršojot šo procedūru ar realizāciju elektroniskajās tabulās; ir veikta vairāku krājumu vadības algoritmu salīdzinoša analīze daudzvešelonu piegādes ķēdē pēc vairākiem kritērijiem; ir veikta piemērotākās metodes analīze stohastiskā pieprasījuma scenāriju ģenerēšanai.

Darba praktiskā nozīmība un aprobācija

Darba praktiskā nozīmība ir saistīta ar darbā piedāvātās pieejas izstrādi, metodēm un modeļiem, kas veicina daudzvešelonu piegādes ķēžu vadīšanas un plānošanas matemātiski pamatotu lēmumu izstrādi un pieņemšanu, kuru izmantošana uzņēmuma stratēģiskā un taktiskā vadīšanā ļauj samazināt loģistikas izmaksas un pilnveidot piegādes ķēžu biznesa procesus.

Izstrādātie modeļi ir aprobēti, nosakot optimālo preču sadales centra izvietojumu “*Zepter International AG*” uzņēmumam Baltijas valstīs, uz kuru bāzes ir izstrādāts mācību piemērs, kas publicēts prof. *Charu Chandra* un RTU DITF profesora J. Grabja redakcijā izdotajā grāmatā „*Application in Retail: Locating a Distribution Center. Supply Chain Configuration: Concepts, Solutions, and Applications*” (Springer, 2007. p. 303-333;). Izstrādātā pieeja un tās elementi ir aprobēti „*King Coffee Service*” sadales uzņēmumā, par ko ir ziņots RTU 52. starptautiskajā zinātniskajā konferencē (2010. g.) un uzņēmumā „*Biosan*”. Abi uzņēmumi pozitīvi novērtē sasniegtos rezultātus ar atbilstošiem dokumentiem (pievienoti promocijas darba pilnteksta pielikumos). Modelēšanā

sakņotas lēmumu pieņemšanas priekšrocības piegādes ķēžu vadīšanā ir apspriestas Latvijas investīciju un attīstības aģentūras organizētajā seminārā „Kopīgi loģistikas risinājumi – „labāk” vai „kā vienmēr”?” (diskusiju vadīja loģistikas eksperts N. Krūmiņš; 10.06.2010).

Promocijas darba starprezultāti un izstrādnes ir izmantotas RTU praktiskajās nodarbībās RTU mācību priekšmetos „Piegādes ķēžu vadība” *DMI458* un „Loģistikas sistēmu optimizācija” *DMI459* (atbildīgais mācībspēks prof. J. Merkurjevs), kā arī „Loģistikas informācijas sistēmas” *DMI465*, *DMI470* un „Informācijas sistēmu pārvaldības datorizētie līdzekļi” *DMI500* (atbildīgais mācībspēks asoc. prof. A. Romānovs).

Uzstāšanās starptautiskās konferencēs

Promocijas darba rezultāti tika prezentēti 11 zinātniskajās konferencēs: RTU 150 gadu jubilejai veltītajā 53. starptautiskajā zinātniskajā konferencē un 1. pasaules inženieru un RPI/RTU absolventu kongresā (2012. g.), RTU 52. starptautiskajā zinātniskajā konferencē (2011. g.), RTU 51. starptautiskajā zinātniskajā konferencē (2010. g.), RTU 50. starptautiskajā zinātniskajā konferencē (2009. g.), starptautiskajā konferencē „The 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation” (Slovēnijā, 2007. g.), starptautiskajā konferencē „The 5th International Conference on Operational Research: Simulation and Optimization in Business and Industry” (Igaunijā, 2006. g.), RTU 47. starptautiskajā zinātniskajā konferencē (2005. g.), starptautiskajā konferencē „The 11th International Power Electronics and Motion Control Conference” (Latvijā, 2005. g.), RTU 46. starptautiskajā zinātniskajā konferencē (2004. g.), starptautiskajā konferencē „Harbour, Maritime and Multimodal Logistics Modelling & Simulation” (Latvijā, 2003. g.), starptautiskajā konferencē “Traditions and innovations in sustainable development of society” (Latvijā, 2002. g.).

Publikācijas

1. Soshko O, Y. Merkuryev, Logistics information systems: an overview // Digest of Riga Technical University 53rd International Scientific Conference dedicated to the 150th anniversary and The 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnical Institute / RTU Alumni, Latvia, Riga, 11.-12. October, 2012.-pp 80.
2. Romanovs A., Soshko O., Y. Merkuryev, Novickis L. Evaluation of Engineering Course Content by Bloom's Taxonomy: a Case Study // Workshops on Business Informatics Research: BIR 2011 Workshops, LNBIP.: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. pp 158-170. <SpringerLink, Library of Congress Control>
3. Soshko O., Model-Based Supply Chain Management // Scientific Journal of RTU. 5. series., Computer Science. Information Technology and Management Science. - 45. vol. (2011), pp 116-122.
4. Romanovs A., Soshko O., Y. Merkuryev, Novickis L. Planning “Logistics Information Systems” Course Content and Its Promotion through Baltic Regional Competence Network // Recent Advances in Applied & Biomedical Informatics and Computational Engineering in Systems Applications, Italy, Florence, 23.-25. August, 2011. - pp. 77-82. <SCOPUS >

5. Romanovs A., Soshko O., Y. Merkuryev, Novickis L. Harmonizing “Logistics Information Systems” Course’s Content According to Bloom’s Taxonomy // Perspectives in Business Informatics Research, Latvia, Riga, 6.-8. October, 2011.-pp 259-266.
6. Mangusa A., Mjačkova J., Katranži M., Spūlis A., Merkurjevs J., Soško O. Analysis of SCOR (Supply Chain Operation Reference) Model Application for Increasing Competitiveness of Latvian Logistics and Maritime Companies // Ūdens transports un infrastruktūra 2011: 13. starptautiskā konference, Latvia, Rīga, 28.-29. April, 2011. pp. 68-75.
7. Romanovs A., Soshko O., Lektauers A., Merkuryev Y. Application of Information Technologies to Active Teaching in Logistic Information Systems // Advances in Databases and Information Systems, Associated Workshops and Doctoral Consortium of the 13th East European Conference ADBIS 2009: Revised Selected Papers. Lecture Notes in Computer Science 5968, Latvia, Rīga, 7.-10. September, 2009. –pp. 23-30. <SCOPUS, ISI Web of Science, SpringerLink>
8. Soshko O., Vjaks V., Merkuryev Y. Modelling Inventory Management System at Distribution Company: Case Study // Scientific Journal of RTU. 5. series., Computer Science. Information Technology and Management Science. - 44. vol. (2010), pp. 87-93. <EBSCO, CSA/ProQuest, VINITI, Google Scholar>
9. Romanovs A., Soshko O., Merkuryev Y. Information Technology Focused Training in Logistics // 2010 IEEE 9th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), Turkey, Cappadocia, 29. April-1. May, 2010. – pp 27-34. <SCOPUS, IEEE Xplore>
10. Romanovs A., Soshko O., Merkuryev Y. Information Technology in Logistics: Teaching Experiences, Infrastructure and Technologies // EDUCON 2010 - Annual Global Engineering Education Conference. The Future of Global Learning in Engineering Education., Spānija, Madrid, 14.-16. aprīlis, 2010. -1721.-1728. lpp. <SCOPUS, IEEE Xplore>
11. Soshko O., Pluksne N. Inventory Management in Multi Echelon Supply Chain Using Sample Average Approximation // Scientific Journal of RTU. 5. series., Computer Science. Information Technology and Management Science. - 40. vol. (2009), pp 45-52.
12. Soshko O., Merkuryev Y., Chakste M. Application in Retail: Locating a Distribution Center // Supply Chain Configuration: Concepts, Solutions, and Applications. Ed. Charu Chandra, Jānis Grabis. Springer. - 2007. pp 303-333. <SpringerLink, Library of Congress Contro>.
13. Klimovs R., Merkuryev Y., Soshko O. Uncertainty and Risk Within Supply Chains // Annual Proceedings of Vidzeme University College: ICTE in Regional Development. - Valmiera, Latvia: Vidzeme University College. – 2007. pp 15.-21. <EBSCO>
14. Soshko O., Merkuryev Y., Van Landeghem H. Application of stochastic programming for supply chain inventory optimization under uncertain demand and lead time // Proceedings of the 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, Ljubljana, Slovenia. Edited by Zupančič, Karba, Blažič. – 1. vol. 2007. pp 305-305. <ISI Web of Science/Conferences>
15. Soshko O., Merkuryev Y., Van Landeghem H. Achieving the best performance of supply chain operation//Proceedings of 5th International Conference on Operational Research: Simulation and Optimization in Business and Industry, Estonia, Tallinn, 2006.–pp 227-232. <ISI Web of Knowledge>
16. Vasilcova J., Soshko O., Van Landeghem H., Merkuryev Y. Simulation based analysis of transportation modes in pharmaceutical distribution network // Scientific Proceedings of Riga Technical University, 5 series, Computer Science. Information Technology and Management Science. - 28. vol. 2006. pp 67-73.

17. Soshko O., Goetgeluk J., Van Landeghem H., Merkuryev Y. Optimisation of Beer Game inventory model under uncertain demand // Scientific Proceedings of Riga Technical University, 5 series, Computer Science. Information Technology and Management Science. - 28. vol. 2006. pp 57-66.
18. Soshko (Burska) O., Merkuryev Y., Van Landeghem H. Simulation and optimisation: Synergy in supply chain management // Simulation in Supply Chain Management and Logistics. Magdeburger Schriften zur Logistik. Wissenschaftliche Themenhefte des Lehrstuhls Logistik der Universität Magdeburg. - Heft 19. 2005. pp 3-13.
19. Chakste M., Merkuryev Y., Soshko O. Simulation-Based Case Study: Location a Distribution Centre // Scientific Proceedings of Riga Technical University, Computer Science. Information Technology and Management Science. -20. vol. 2005. pp 103-108.
20. Burska (Soshko) O., Merkuryev Y., Sedej J. Teaching Supply Chain Management with SimFlex // Proceedings of the 11th International Power Electronics and Motion Control Conference, Latvia, Riga. – 2004. pp 515-517. < Engineering Village>
21. Burska (Soshko) O., Merkuryev Y., Van Landeghem H. Optimisation of supply chains // Scientific Proceedings of Riga Technical University, 5 series, Computer Science. Information Technology and Management Science. - 20. vol. 2004. pp 114-121.
22. Merkuryev Y., Burska (Soshko) O., Sedej J. Simulation-based design of supply chains with Simflex // Proceedings of The International workshop on Harbour, Maritime and Multimodal Logistics Modelling & Simulation, Latvia, Riga. – 2003. pp 372-377.
23. Merkuryev Y., Burska O., Petuhova J., Kuzmina Z. Simulation and analysis of supply chains using LORD // Proceedings of the International Conference. Traditions and Innovations in Sustainable Development of Society. Rezeknes Augstskola. Rezekne. - 2002. pp 201-208.

Darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs sastāv no ievada, četrām nodaļām, secinājumiem, literatūras saraksta un 11 pielikumiem. Promocijas darba teksts ir izklāstīts uz 145 lappusēm un paskaidrots ar 48 attēliem un 36 tabulām. Literatūras sarakstā ir iekļautas 130 atsauces. Promocijas darba struktūra ir aprakstīta zemāk.

Ievads – ievadā ir pamatota izvēlētās tēmas aktualitāte, noformulēts pētījuma mērķis, kas ir sadalīts vairākos uzdevumos, tāpat ir uzskaitītas promocijas darba izstrādē izmantotās zinātniskās metodes, ir aprakstīts pētījumu zinātniskais jaunieguvums un darbā iegūto rezultātu praktiskā vērtība, kā arī ir sniegts darba aprobācijas raksturojums, uzskaitot publicētos zinātniskos rakstus un daļību zinātniskajos projektos u.c. Pirmajā nodaļā „**Piegādes ķēžu taktiskā vadīšana**” ir izanalizēti piegādes ķēžu vadīšanas uzdevumi. Ir izpētīti piegādes ķēžu vadīšanas kritēriji, kā arī piegādes ķēžu vadīšanas informācijas sistēmu funkcionalitāte. Otrajā nodaļā „**Modelēšanas pieeju analīze piegādes ķēžu vadīšanas uzdevumos**” ir veikta vairāku modelēšanas pieeju analīze un to izmantošanas iespēju piegādes ķēžu vadīšanas uzdevumos pētīšana. Trešā nodaļa „**Modelēšanā sakņotas pieejas izstrāde daudzšelonu piegādes ķēžu krājumu vadīšanas uzdevumā**” ir veltīta modelēšanā sakņotai daudzšelonu piegādes ķēžu vadīšanas pieejas aprakstam. Ir piedāvāts pieejas konceptuālais apraksts, kā arī tā skaidrojums, kas ir īstenots daudzšelonu piegādes ķēdes krājumu vadīšanas piemērā. Ceturtajā nodaļā „**Modelēšanā sakņotas pieejas izmantošana Latvijas uzņēmumos**” ir aprakstītas problēmsituācijas, kuru risi-

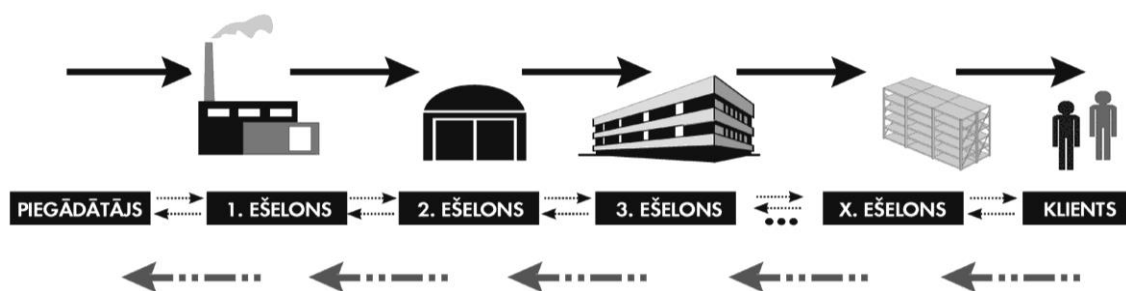
nāšanā ir izmantoti promocijas darbā piedāvātās pieejas elementi. Promocijas darba nobeigumā ir apkopoti darba rezultāti un secinājumi, literatūras saraksts un pielikumi.

DARBA ATSEVIŠĀO NODAĻU ĪSS IZKLĀSTS

Pirmajā daļā „Piegādes ķēžu taktiskā vadīšana” ir sniegts ievads pētījuma tematikā. Īpaša uzmanība ir pievērsta daudzešelonu piegādes ķēžu vadīšanai. Ir izskaidroti promocijas darba pamatjēdzieni. Nodaļas nobeigumā ir veikta piegādes ķēžu vadīšanas informācijas sistēmu analīze.

Daudzešelonu piegādēs ķēžu vadīšana

Piegādes ķēžu definējumā pastāv objektu un procesu pieeja. Tradicionāli piegādes ķēdi definē no objektu pieejas viedokļa, t.i., sarežģīta struktūra, kas vienotā sistēmā apvieno atsevišķus, ģeogrāfiski plašā rādiusā izvietotus resursus un sadales kanālus produkcijas gala klientu apkalpošanas procesa nodrošināšanai. Piegādes ķēdi procesu pieejas kontekstā mēdz definēt arī kā vairāku procesu integrēšanu [LAM 2000, BOC 2008], tādu kā iepirkšana, ražošana, uzglabāšana, transportēšana, klientu apkalpošana, pieprasījuma plānošana, piegādes plānošana, piegādes ķēžu vadīšana u.c. Katrai piegādes ķēdei šo procesu kopa ir individuāla, tomēr visus procesus var sadalīt pamatprocesos (piem. klientu apkalpošana, transportēšana), kuri ir raksturīgi jebkurai piegādes ķēdei, un papildus procesos (piem. krājumu vadība, ražošana u.c.). Promocijas darbā ir secināts, ka piegādes ķēdes definēšana procesu pieejas skatījumā ir daudz perspektīvāka, jo tā nodrošina piegādes ķēdes integrētu plānošanu un vadīšanu, kā arī atbalsta ārpakalpojumu attīstīšanu tajās.



1. att. Daudzešelonu piegādes ķēde

Tipiska piegādes ķēde sevī ietver piegādātājus, kas atrodas piegādes tīkla sākumā, ražotnes, glabāšanai paredzētos resursus un patērētāju (ko sauc arī par klientu vai pircēju), kas atrodas piegādes ķēdes galā. Gala pircēji inicializē visus procesus piegādes ķēdēs, iesniedzot savus pieprasījumus izplatīšanas centriem, kuri savukārt nodot informāciju tālāk līdz to saņem izejvielu piegādātāji (sk. 1. att.).

Resursus, kuros veidojas krājumi ceļā pie gala patērētāja, dēvē par ešeloniem, savukārt, piegādes ķēdi, kurā ir vairāki ešeloni, par daudzešelonu piegādes ķēdi (angl. *Mutli-echelon supply chain*). Ešelonu skaits un izkārtojums piegādes ķēdē

ietekmē piegādes ķēdes vadīšanas sarežģītību. Daudzešelonu piegādes ķēdes vadīšanas mērķis ir sniegt gala klientiem vēlamu pakalpojumu jeb servisa līmeni, izmantojot minimālus krājumus, ņemot vērā, ka krājumi sadalīti starp vairākiem ešeloniem.

Piegādes ķēžu vadīšanā izdala šādus lēmumu pieņemšanas līmeņus [BAL 1999]:

- stratēģiskās plānošanas līmenī (laika intervālā no 3 līdz 10 gadiem) tiek definēti plānošanas mērķi un vispārēja piegādes ķēžu vadīšanas politika;
- taktiskajā līmenī (no 3 mēnešiem līdz 2 gadiem) tiek pieņemti lēmumi par iepirkšanu un ražošanu, krājumu politiku un pārvadāšanas stratēģijām;
- operatīvās plānošanas līmenī notiek atsevišķu uzdevumu realizācijas plānošana un īstenošana, tādu kā darba grafiku sastādīšana, maršrutēšanas un iekraušanas jautājumi;
- procesu izpildes līmenis.

Lēmumu pieņemšanas sarežģītību katrā no plānošanas līmeņiem izskaidro ar reālas piegādes ķēdes mērogu: dalībnieku skaits, produktu skaits, transportēšanas veidu daudzveidība utt. Lielāku sarežģītību piegādes plānošanā izraisa nelineārā dinamika, kas saistīta ar iekšējās informācijas plūsmām, un nenoteiktība par klienta pieprasījumu, transportēšanas laiku, pakalpojuma izmaksām u.c.

No tipiskiem taktiskās vadīšanas uzdevumiem piegādes ķēdē, darba pētījums tiek ierobežots ar krājumu vadīšanas uzdevumu, kas taktiskajā līmenī paredz krājumu vadības algoritmu izvēli un izvēlēta algoritma vadības parametru noteikšanu. Promocijas darbā šis uzdevums ir risināts daudzešelonu piegādes ķēdē.

Daudzešelonu piegādes ķēžu krājumu vadīšana

Taktiskajai krājumu vadīšanai daudzešelonu piegādes ķēdē salīdzinājumā ar viena ešelona piegādes ķēdi ir vairākas būtiskas problēmas. Viena no tām ir nespēja panākt patiesu krājumu optimizēšanu, jo krājumu papildināšana tiek pielietota katram ešelonam individuāli, neņemot vērā tā ietekmi uz citiem ešeloniem.

Daudzešelonu piegādes ķēžu krājumu vadīšanā ir izmantotas divas pieejas:

1. viena ešelona krājumu vadības modeļu izmantošana katrā piegādes ķēdes ešelonā atsevišķi, ko sauc par secīgo pieeju. Šai pieejai ir šādas nepilnības [LEE 2003]:
 - redzamības trūkums, virzoties augšup un lejup pa piegādes ķēdi;
 - pieprasījuma izkropļojums pātagas efekta dēļ;
 - kopējās piegādes ķēdes izmaksas paliek nenovērtētas.
2. sadales prasību plānošanas pieeja.

Tradicionāli krājumu vadības algoritmi ir paredzēti viena ešelona gadījumiem, tādējādi nav tīkla skatījuma perspektīvas par krājumu izmantošanu augšup un lejup pa piegādes ķēdi (sk. 1. tabula, [LEE 2003]).

Krājumu vadīšanas pieejas daudzešelonu piegādes ķēdēs

Aspekts	Secīgā pieeja	Sadalītā pieeja	Daudzešelonu pieeja
Optimizācijas mērķis	Tiešo klientu prasību apmierināšana	Apmierināt neto prasības	Galapatērētāju prasību apmierināšana
Pieprasījuma prognozēšana	Neatkarīga prognoze katrā ešelonā	Prognozētie pasūtījumi bez to izmaiņu novērtēšanas	Prognoze ir balstīta uz zemāka ešelona primāro pieprasījumu
Piegādes laiks	No tiešiem piegādātājiem	No tiešiem piegādātājiem	No visiem piegādātājiem
Pātagas efekts	Ignorēts	Ignorēts	Nemts vērā
Piegādes ķēdes pārskatāmība	Tuvredzīga	Daļēja zemāko ešelonu pārskatāmība	Centralizēta (informācija par visiem ešeloniem)
Pasūtījumu sinhronizācija starp ešeloniem	Ignorēta	Var būt	Pilnīgi modelēta

Piegādes ķēžu vadīšanas kritēriji

Promocija darbā galvenā ideja ir optimizācijas un imitācijas modelēšanas pieeju izmantošana taktiskās vadīšanas uzdevuma risināšanai daudzešelonu piegādes ķēdēs ar stohastiskiem ieejas parametriem, kas ļautu sasniegt vēlamos piegādes ķēdes stratēģiskos mērķus.

Optimizācijas kritēriju vai imitācijas modeļa izejas vērtību definēšanai piegādes ķēdes uzdevuma risināšanā ir jāizmanto *piegādes ķēžu vadīšanas kritēriji*. Šo kritēriju izvēle ietekmēs problēmas risinājumu un turpmāko sistēmas funkcionēšanu. Zinātniskajos rakstos ir novēroti piegādes ķēžu vadīšanas veikspējas kritēriju sistematizācijas mēģinājumi, kas ir būtisks solis piegādes ķēžu vadīšanas metodoloģisko pamatu attīstībā [KLE 2003, SLA 2007, SIL 2012]. Šajā kontekstā nozīmīgs ir darbs, ko veic Piegādes ķēžu padome (*Supply Chain Council*), kas piedāvā piecus piegādes ķēdes izpildes atribūtus (sk. 2. tabula): uzticamība, drošums (*reliability*), atsaucība (*responsiveness*), elastīgums (*flexibility*), izmaksas (*costs*) un aktīvu pārvaldība (*asset management*) [SCOR].

Piegādes ķēžu vadīšanas veiktspējas kritēriji

Izpildes atribūti	Apraksts	Veiktspējas kritērijs
Drošums, uzticamība	Piegādes ķēdes spēja nodrošināt preces savlaicīgu piegādi patērētājam	<ul style="list-style-type: none"> • saistību savlaicīga izpilde • pieprasījuma apmierinātības koeficients; • pasūtījuma izpildes precizitāte
Atsaucība	Piegādes ķēdes spēja reaģēt uz pieprasījuma izmaiņām	<ul style="list-style-type: none"> • pasūtījuma izpildes laiks
Elastīgums	Piegādes ķēdes spēja izmainīt savu struktūru	<ul style="list-style-type: none"> • reakcijas aizkavēšanās intervāls uz pieprasījuma izmaiņām • ražošanas procesa elastīgums
Izmaksas	Izmaksas, kas ir saistītas ar piegādes ķēdes ekspluatāciju	<ul style="list-style-type: none"> • preces apgrozījums • administratīvās un vadīšanas izmaksas • garantijas apkalpošanas izmaksas
Aktīvu pārvaldības efektivitāte	Pamatfondu un apgrozāmo līdzekļu izmantošanas efektivitāte	<ul style="list-style-type: none"> • naudas līdzekļu apgrozījuma ātrums • krājumu daudzums (dienās) • kapitāla apgrozījums

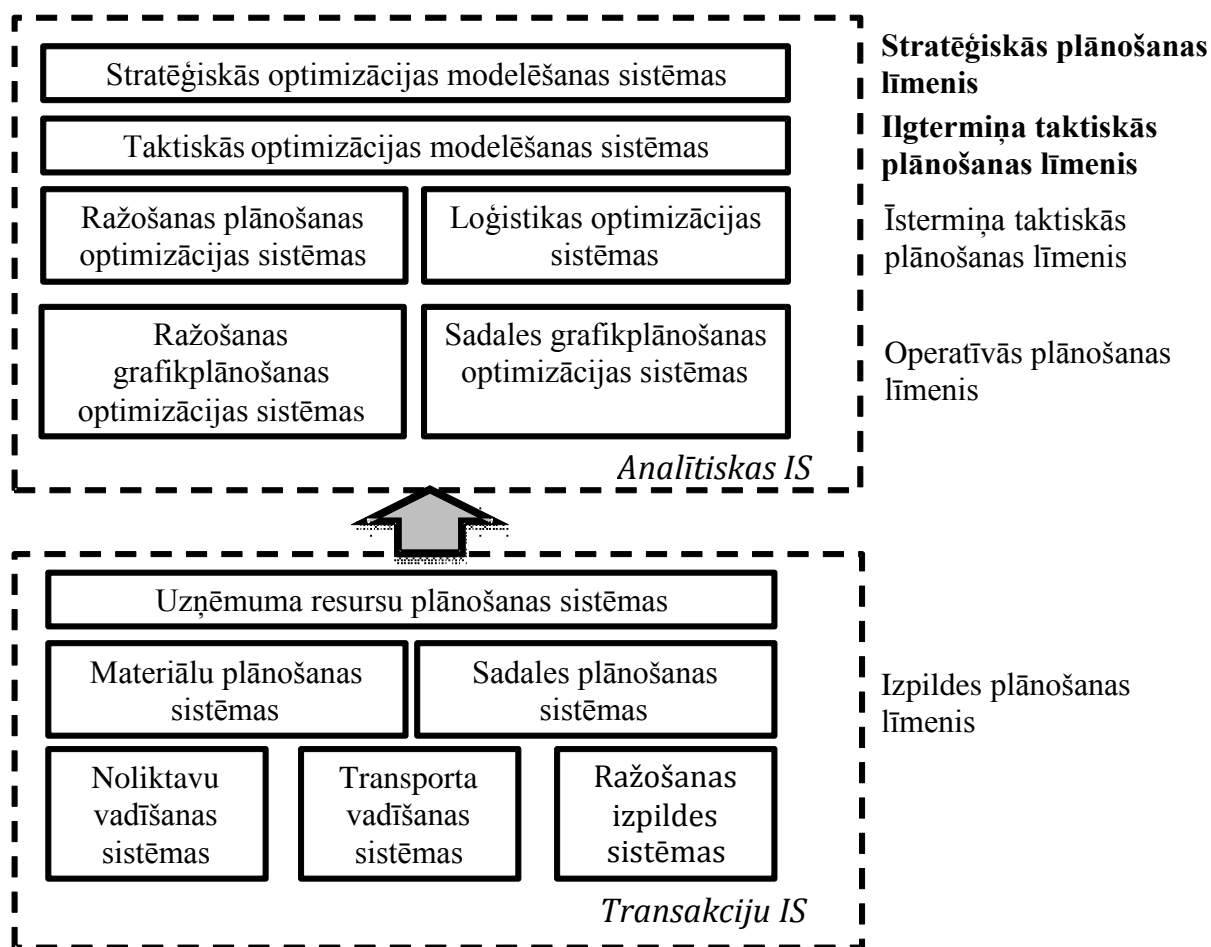
Katru no atribūtiem var izmērīt, izmantojot kvantitatīvos un kvalitatīvos veiktspējas kritērijus. Kvalitatīvie efektivitātes kritēriji, piemēram, ir klientu apmierinātība (tā ir pakāpe, ar kuru klienti raksturo savu apmierinātību par noteikta produkta vai servisa saņemšanu) un sistēmas elastīgums (raksturo piegādes ķēdes spēju reaģēt uz pieprasījuma nejaušības svārstībām). Piegādes ķēžu vadīšanas kritēriji un to mērķa līmenis optimizācijas uzdevumos var kalpot par optimizācijas kritēriju, ja tie ir izteikti matemātiskās funkcijas veidā. Pašlaik piegādes ķēžu optimizācijas modeļos izplatītākie kritēriji ir izmaksas un klientu apkalpošanas līmenis.

Informācijas sistēmas piegādes ķēžu vadīšanā

Promocijas darbā ir izpētīta piegādes ķēžu informācijas sistēmu funkcionālitate (sk. 2. att.).

Promocijas darbā izstrādātā modelēšanā sakņotā pieeja taktisko lēmumu pieņemšanas atbalstam piegādes ķēžu vadīšanā informācijas sistēmu kontekstā pieder taktiskās optimizācijas modelēšanas sistēmu klasei (sk. 2. att.), kas definē tai šādus nosacījumus [SHA 1999, SHA 2009]:

- plānošanas horizonts – 12 mēneši;
- analīzes biežums – vienreiz mēnesī;
- plānošanas laiks – 1 nedēļa;
- modelēšanas laiks – 60-120 min.;
- optimizācijas kritērijs (mērķa funkcija) – minimizēt kopējās izmaksas.



2. att. Loģistikas informācijas sistēmas

Promocijas darba pirmajā daļā ir secināts:

- *piegādes ķēžu vadīšanā aktualizējas pāreja no objektu pieejas uz procesu pieeju, kas nodrošina piegādes ķēdes integrētu plānošanu un vadīšanu, kā arī atbalsta ārpakalpojumu attīstīšanu tajās;*
- *daudzešelonu piegādes ķēžu vadīšana prasa optimizācijas un imitācijas modeļu kompleksu izstrādi, kas veido piegādes ķēžu analītisko rīku matemātiski pamatotai lēmumu pieņemšanai;*
- *loģistikas sistēmu vadīšanā izplatītas ir transakciju informācijas sistēmas, kas nenodrošina efektīvai vadīšanai nepieciešamās analītiskās funkcijas, kas aktualizē nepieciešamību pēc analītisko sistēmu izstrādes un ieviešanas uzņēmuma loģistikas lēmumu atbalstam.*

Promocijas **darba otrajā daļā „Modelēšanas pieeju analīze piegādes ķēžu vadīšanas uzdevumos”** ir veikta vairāku modelēšanas pieeju analīze un to izmantošanas iespēju pētīšana piegādes ķēžu vadīšanas uzdevumos.

Dažādas metodoloģiskas pieejas, metodes un algoritmi veicina pamatotu un racionālu lēmumu pieņemšanu piegādes ķēžu vadīšanā. Šo pieeju, metožu un

algoritmu pielietošana stratēģiskajā, taktiskajā un operatīvā plānošanā ļauj samazināt piegādes ķēdes izmaksas un paaugstināt biznesa procesu efektivitāti.

Piegādes ķēžu vadīšanai veltītajos rakstos un publikācijās kvantitatīvo pieeju izmantošana sastāda tikai vienu ceturtdaļu no visām publikācijām [STO 2009]. Matemātiskās modelēšanas īpatsvars tajās ir 10%, konceptuālā modelēšana sastāda 6% un imitācijas modelēšana 5%. Literatūras pētīšana rāda, ka pēc izmantojamām metodēm visus manuskriptus var sadalīt divās grupās: analītiskās modelēšanas pētījumi un empīriskie pētījumi. Empīriskie pētījumi bieži vien ir veltīti kāda konkrēta uzdevuma risināšanai un tāpēc to izstrādes laikā radītās metodes un algoritmus ir grūti izmantot citiem uzdevumiem. No otras puses, analītiskās metodes un modeļi ir piemēroti strukturētu problēmu risināšanai. Tādējādi, kā atzīmē loģistikas eksperti, tai skaitā arī Latvijas [KUR 2006, LAS 2003, SLA 2007], aktualizējas nepieciešamība pēc tādas pieejas, kas var, apvienojot vairākas zinātniskas pieejas, nodrošināt matemātiski pamatotu lēmumu pieņemšanu piegādes ķēžu vadīšanā.

Ir mēģināts šīs metodes klasificēt, tomēr joprojām tas ir aktuāls jautājums piegādes ķēžu vadīšanas metodoloģiskajā bāzē [SHA 1999, TOL]. Šapiro, kas ir pasaules vadošais eksperts piegādes ķēžu vadīšanā, sadala visus modeļus deskriptīvos un normatīvos modeļos [SHA 1999]. Pie normatīvajiem modeļiem ir nosaukti optimizācijas modeļi, savukārt, deskriptīvie modeļi ir paredzēti sistēmu procesu un to likumsakarību aprakstīšanai. Šī klasifikācija atbilst modeļu klasifikācijai lēmumu pieņemšanā. Promocijas darbā izstrādes gaitā ir izpētītas trīs modelēšanas pieejas, kuru izmantošanas nosacījumus definē piegādes ķēžu vadīšanas mērķi un plānošanas līmenis (sk. 3. tabula).

3. tabula

Modelēšanas pieeju apkopojums piegādes ķēžu vadīšanā

Pieejas nosaukums	Modelēšanas mērķis	Plānošanas līmenis	Formāts	Vide
Biznesa procesu modelēšana (deskriptīvā)	Piegādes ķēdes struktūras un procesu analīze <Kā?>	stratēģiskais taktiskais	grafisks attēls, procesu diagrammas	ARIS, CA ERwin, SCOR
Analītiskā modelēšana (normatīvā)	Piegādes ķēdes procesu optimizācija <Kā labāk?>	stratēģiskais taktiskais	optimizācijas modelis, vienādojumu, nevienādību sistēmas	LINGO, ILOG
Imitācijas modelēšana (deskriptīvā)	Piegādes ķēdes scenāriju izpēte <Kas būs, ja?>	taktiskais operatīvais	datorprogramma	ARENA, Promodel, Anylogic

Biznesa procesu modeļi ir mazāk izplatīti piegādes ķēžu vadīšanā. Tie ir modeļi, kurus izmanto, lai aprakstītu piegādes ķēdes procesus un informācijas plūsmas. Šo modeļu izmantošanas priekšnosacījumi piegādes ķēžu vadībā ir izskaidrojami ar piegādes ķēžu globalizāciju un integrāciju, kas prasa piegādes ķēžu procesu izpratni un izvērtēšanu. Universālās biznesa procesu modelēšanas standarti (IDEF, UML, ARIS, DFD utt.) ir izmantoti tādos uzdevumos kā piegādes ķēžu procesu analīze, projektēšana un uzlabošana [CHI 1999, HAI, HER 2008, REN 2010, VER 2010, STE 2006, MOH 2012]. Pēdējā laikā īpašu popularitāti ir ieguvis piegādes ķēžu SCOR modelis, kuru izstrādā un pilnveido Piegādes ķēžu padome [BOL, YIL 2006]. SCOR modelis ir piegādes ķēžu biznesa procesu aprakstīšanas un pilnveidošanas instruments. Tā galvenā priekšrocība ir piegādes ķēžu veiktspējas novērtēšanas rādītāji, kuru izmantošana ļauj novērtēt uzņēmuma piegādes ķēdes darbību un salīdzināt vairākus piegādes ķēdes alternatīvus scenārijus uzņēmuma darbības pilnveidošanas procesā.

Cita modeļu klase ir normatīvie modeļi, kurā ietilpst matemātiskās programmēšanas modeļi. Parasti tos sauc par optimizācijas modeļiem, un tie paredz matemātisko likumu, kuri savieno sistēmas elementus, formulēšanu. Šo modeļu izmantošana ir ierobežota, ja modelējamā sistēma satur stohastiskus vai nenoteiktības faktorus. Šajos apstākļos modeļa veidošana, kas nosaka precīzas kvantitatīvas savstarpējās attiecības starp dažādām sastāvdaļām, var būt vai nu neiespējama, vai nu pārāk dārga. Tāpat, sarežģītāko sistēmu pētīšana ar analītiskajiem modeļiem ir komplicēta, kas ir būtisks metodes trūkums. Tādā gadījumā izmanto algoritmiskus modeļus, no kuriem izplatītākie ir imitācijas modeļi.

Promocijas darba otrajā daļā ir secināts:

- *Piegādes ķēžu vadīšanā ir izmantotas dažādas modelēšanas metodes un modeļi, tomēr nav vienotas šo metožu klasifikācijas. Promocijas darbā visi modeļi ir sadalīti divās klasēs: deskriptīvie modeļi un normatīvie modeļi.*
- *Starp deskriptīvajiem modeļiem piegādes ķēžu vadīšanā un plānošanā vairāk izplatīti ir imitācijas modeļi. Funkcionālie modeļi ir mazāk izplatīti, tomēr to izmantošanu piegādes ķēžu vadīšanā veicina vairāki faktori, tādi kā procesu pieejas izplatīšana vadīšanas uzdevumu risināšanā, piegādes ķēžu informācijas sistēmu attīstība, piegādes ķēžu globalizācija un integrācija. Piegādes ķēdes raksturojošais SCOR modelis ir mūsdienu standarts, kuru izmanto piegādes ķēžu novērtēšanai un pilnveidošanai.*
- *Normatīvo modeļu klasi veido matemātiskās programmēšanas modeļi. Tie parasti tiek izstrādāti katrai risināmajai problēmai individuāli. Starp matemātiskajiem modeļiem mazāk izplatīti ir taktiskās plānošanas uzdevumu modeļi, jo tiem jānodrošina uzdevuma ar stohastiskiem datiem risināšana definētajā laikā.*

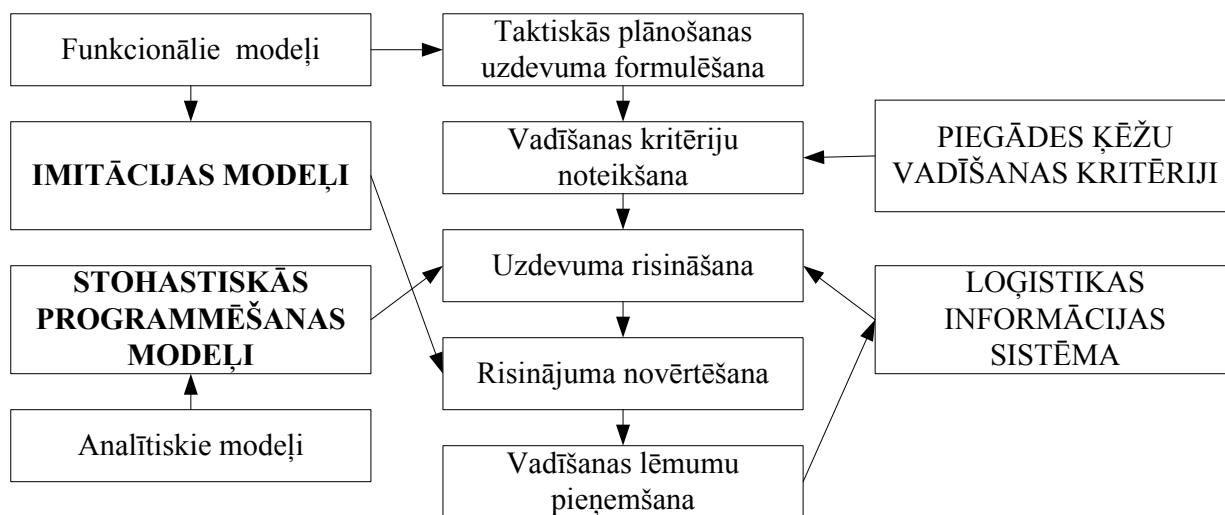
Darba trešā daļa „Modelēšanā sakņotas pieejas izstrāde daudzvešelonu piegādes ķēžu krājumu vadīšanas uzdevumā” ir veltīta modelēšanā sakņotai daudzvešelonu piegādes ķēžu taktiskās vadīšanas pieejas izstrādei, kuras mērķis ir atbalstīt matemātiski pamatotu taktisko lēmumu pieņemšanu piegādes ķēdēs, kas darbojas nenoteiktības apstākļos (ko raksturo stohastiskie raksturlielumi tādi kā stohastiskais pieprasījums un piegādes laiks), izmantojot dažādu modelēšanas pieeju elementus.

Pieejas konceptuālais apraksts

Promocijas darbā izstrādātā pieeja balstās uz optimizācijas un imitācijas modelēšanas izmantošanu daudzvešelonu piegādes ķēžu vadīšanas uzdevumos ar stohastiskiem ieejas datiem. Tā ir izstrādāta taktisko lēmumu pieņemšanas atbalstam, tomēr var būt izmantota arī stratēģisko uzdevumu risināšanā, ja uzdevumu specifika nav pretrunā ar pieejas priekšnosacījumiem:

1. pieejas izmantošana ir paredzēta tādu uzdevumu risināšanai, kuros dažiem no ieejas datiem piemīt stohastisks raksturs (parasti tie ir pieprasījums un pasūtījumu izpildes laiks). Tieši taktiskajā plānošanas līmenī ir lietderīgi ņemt vērā risināmā uzdevuma nenoteiktību. Stratēģisko lēmumu īstenošanas laikā pastāv liela varbūtība, ka stohastiskā mainīgā raksturlielumi tiks būtiski izmainīti, vai vispār nebūs aktuāli. No otras puses, operatīvajā līmenī lēmums ir jāpieņem ļoti īsā laika posmā, pie tam tas arī paredz, ka ir zināma precīza informācija par sistēmu. Gadījumā, ja sistēmā notiek izmaiņas kāda neparedzēta iemesla dēļ, notiek uzdevumu risināšana ar jauno precizēto mainīgā vērtību, kas prasa determinētu metožu izmantošanu.
2. izstrādājot optimizācijas un imitācijas modeļus, ir jāņem vērā modeļu izpildes laika ierobežojumus, ko definē taktiskās optimizācijas modelēšanas sistēmu raksturlielumi (vidēji līdz 120 min. ir modeļa palaišanas laiks un 1 nedēļa – projekta īstenošanas laiks). Optimizācijas modeļu izpildes laiks ir atkarīgs no uzdevuma mēroga, plānošanas perioda garuma, mainīgo skaita un stohastisko lielumu skaita. Jānodrošina, lai modelī būtu plānošanas horizontam racionāls mainīgo parametru skaits. Risinot stratēģisko uzdevumu, plānošanas horizonts var būt pārāk liels, lai matemātiskais modelis to vārētu apstrādāt. Īpaši tas ir aktuāli, ja modelī ir vairāk par vienu stohastisko mainīgo. Šie laika ierobežojumi nav pieņemami operatīvajā līmenī, kad lēmumu pieņemšanai atvēlētais laiks ir līdz 1 stundai.

Izstrādātās pieejas vispārīgā shēma ir apkopota 3. attēlā. Pieejas kodolu sastāda stohastiskās programmēšanas un imitācijas modelēšanas modeļi, kuri ir galvenie pieejas elementi. Šo modeļu izstrādes atbalstam promocijas darbā ir ieteikts izmantot analītiskos un funkcionālos modeļus, lai nodrošinātu izstrādāto modeļu adekvātumu. Analītiskie modeļi apraksta risināmā uzdevuma likumsakarības, bet funkcionālie modeļi atvieglo imitācijas modeļa izstrādi, jo tiek izmantoti kā konceptuālie modeļi.



3. att. Modelēšanā sakņotas piegādes ķēžu taktiskās vadīšanas shēma

Stohastiskās programmēšanas modeļu izstrādes mērķis ir taktiskā uzdevuma risināšana pēc definēta kritērija. Promocijas darbā ir izmantota stohastiskās programmēšanas scenāriju pieeja, kas paredz uzdevuma stohastisko datu aprakstīšanu scenāriju koka veidā [BAI 2002, BER, BIR 1997, GRO 2003, HOC 2007, KAU 2007, SAN 2005, PAR 2006]. Par scenārijiem sauc no paraugiem vai nejaušiem datiem pēc noteiktiem algoritmiem modelētu datu kopu, kuru tālāk izmanto optimizācijas modeļos. Dator tehnikas resursu attīstība ļauj risināt arvien sarežģītākus optimizācijas uzdevumus, līdz ar to scenāriju plānošana attīstījās atsevišķā nozarē. Lielāku ieguldījumu šīs pieejas attīstībā ienesa finanšu inženierijas nozare, kuras matemātiskajiem modeļiem daudzu periodu plānošana nenoteiktības apstākļos ir sevišķi aktuāla. Izstrādājot piegādes ķēdes stohastiskās programmēšanas modeļus, viens no svarīgiem jautājumiem ir aprēķinu sarežģītība, kas ir saistīta ar scenāriju daudzuma strauju pieaugumu nenoteiktības apraksta procesā, kas pieaug, palielinoties plānošanas periodu vai paraugu skaitam.

Piegādes ķēžu analītiskie krājumu vadības modeļi paredz, ka uzdevuma stohastiskie dati ir aprakstīti ar normālo sadalījumu. Tomēr, risinot reālus uzdevumus, vēsturiskie dati ne vienmēr ir pieejami, vai arī tie neatbilst analītisko modeļu pieņēmumiem. Promocijas darbā ir izpētītas vairākas scenāriju ģenerēšanas un scenāriju reducēšanas metodes. Visas izpētītās scenāriju ģenerēšanas metodes pieder scenāriju modelēšanai no paraugiem (*angl. Sample Modelling*), un pieņem, ka stohastiskā parametra vērtības plānošanas periodā, ko modelē ar scenāriju, nav atkarīgas. Gadījumā, ja tāda atkarība pastāv, ir jāizvēlas citas scenāriju modelēšanas metodes un modeļus kā ekonometriskie modeļi un laika rindas, statistiskās pieejas vai mākslīgā intelekta metodes [DOM 2006].

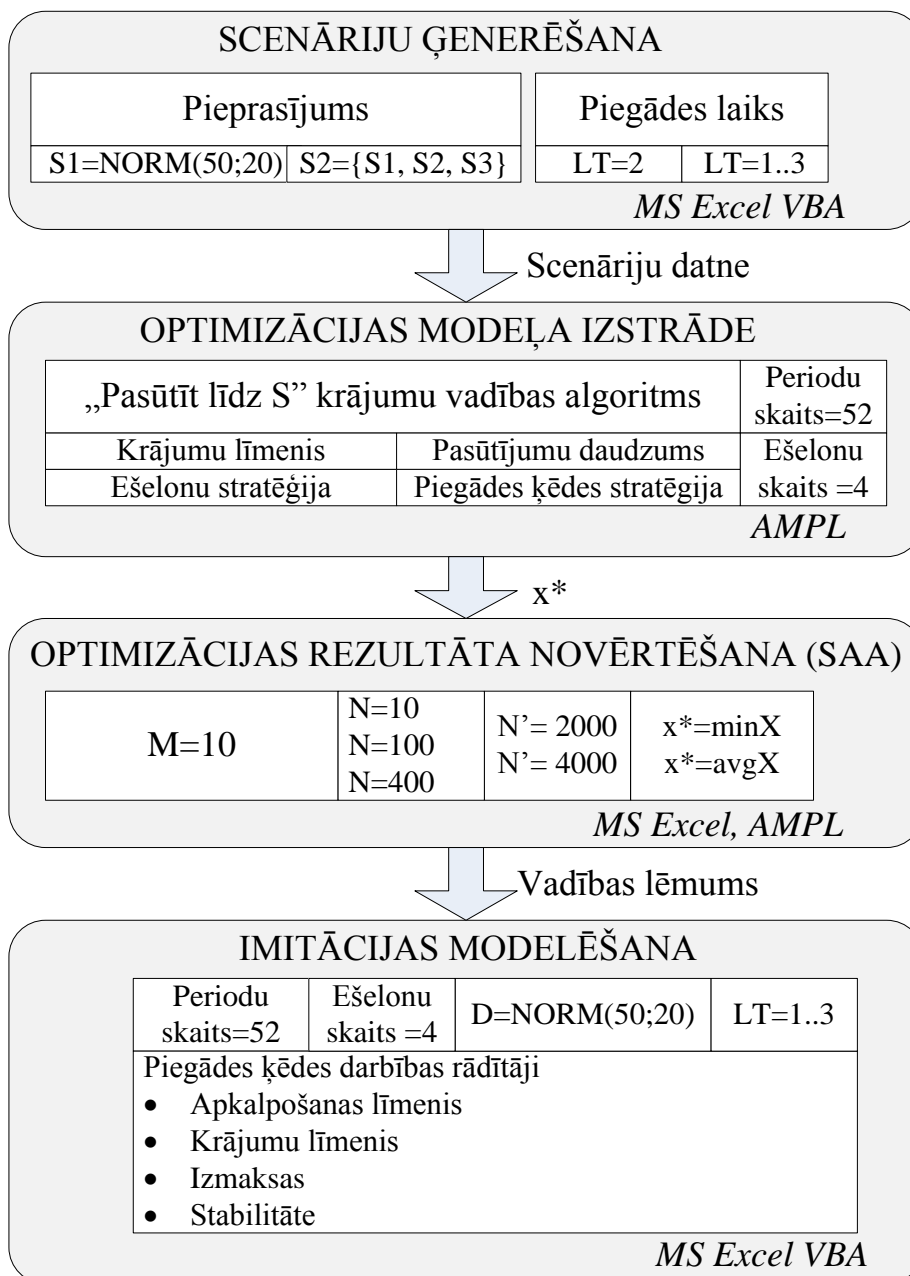
Scenāriju pieejā, izmantojot galīgo scenāriju skaitu, stohastisko problēmu var modelēt kā virkni lineārās programmēšanas modeļu. To sauc par stohastiskās problēmas determinētu ekvivalentu. Izmantojot šo pieeju uzdevumu risināšanā, lieto reducēto scenāriju koku, kas neapraksta visas iespējamās situācijas, tāpēc svarīgi ir novērtēt optimizācijas rezultātu. Šim nolūkam promocijas darbā ir izmantota izlases vidējā aproksimācijas metode (*angl. Sample Average*

Approximation, SAA), kuras būtība ir stohastiskā uzdevuma ar nepilno scenāriju koku risināšana un iegūtā optimizācijas rezultāta novērtēšana.

Promocijas darbā izstrādātās pieejas izpildes procedūra ir šāda:

1. Sastādīt definētās problēmas matemātisko modeli, ievērojot matemātiskās programmēšanas modeļu struktūru (definējot mainīgos, mērķa funkciju un ierobežojumus). Šajā etapā ir lietderīgi izmantot funkcionālos un analītiskos modeļus, jo tie dod priekšstatu par uzdevuma raksturlielumiem un to likumsakarībām. Īpaši aktuāli tas ir daudzešelonu piegādes ķēžu daudzu periodu plānošanas uzdevumos. Problēmas matemātisko modeļu sastādīšanai parasti izmanto matemātiskās programmēšanas modelēšanas valodas, piemēram, AMPL, GAMS un citi.
2. Izvēlēties scenāriju koku modelēšanas metodi, lai aprakstītu problēmas stohastiskā parametra iespējamās vērtības. Šajā etapā ir nepieciešams veikt sākotnējos eksperimentus ar mērķi novērtēt scenāriju skaita ietekmi uz uzdevuma risināšanas laiku (piem., taktiskajām modelēšanas sistēmām tas ir līdz 120 min.).
3. Atrisināt uzdevumu pēc definētā optimizācijas kritērija uzdotajai scenāriju kopai. Šajā etapā ir izmantotas speciālas programmas (angl. *solver*), kuras īsteno optimizācijas uzdevuma risināšanas procedūras, piem., CPLEX, MINOS, utt.
4. Ņemot vērā to, ka uzdevums ir risināts ar ierobežotu scenāriju skaitu, iegūtais risinājums ir daļējs risinājums. Tāpēc ir nepieciešams to novērtēt, izmantojot izlases vidējā aproksimācijas metodi (*SAA*). Šajā etapā ir veikta eksperimentu virkne, lai eksperimentāli atrastu uzdevumam piemērotākās metodes parametru N , N' un M vērtības (M – izlašu skaits, N – scenāriju daudzums, kā arī pārbaudes izlases scenāriju daudzums N'). Šis etaps ir laikietilpīgs, jo prasa skaitļošanas un apstrādes laika resursus.
5. Novērtēt iegūto risinājumu, izmantojot imitācijas modelēšanu. Ar imitācijas modeli var aprakstīt piegādes ķēdi ar augstāko detalizācijas līmeni un ņemt vērā tos vienkāršojumus, kuri tika izlaisti optimizācijas modelī. Tāpat var izpētīt sistēmas darbību ar papildus stohastiskajiem datiem, kuri optimizācijas modelī ir definēti kā nemainīgi. Šajā etapā ir nepieciešams nodrošināt, lai izstrādātais imitācijas modelis būtu adekvāts optimizācijas modelim, tāpēc modeļa izstrādes gaitā ir jāizmanto tie aprakstošie modeļi, kurus izmantoja optimizācijas modeļa sastādīšanai.

Aprakstītā modelēšanā sakņotā piegādes ķēžu taktiskās vadīšanas pieeja ļauj atbalstīt matemātiski pamatotu lēmumu pieņemšanu piegādes ķēžu vadīšanā un novērtēt piegādes ķēdes darbību dažādos apstākļos, tai skaitā arī stohastiskajā vidē. Pieejas demonstrācijai ir veikti eksperimenti ar četrus ešelonu piegādes ķēdes krājumu vadīšanas uzdevumu, kas ir klasisks akadēmisks piemērs piegādes ķēžu taktiskajā vadīšanā. Promocijas darba eksperimentu shēma ir attēlota 4. attēlā.



4. att. Promocijas darba eksperimentu shēma

Daudzešelonu piegādes ķēdes optimizācijas modeļa izstrāde

Promocijas darbā ir risināts krājumu vadīšanas uzdevums četru ešelonu piegādes ķēdē (sk. 5. att.), kas ir klasisks taktiskās vadīšanas uzdevums. Piegādes ķēdes struktūra ir līdzīga „Beer Game” spēles piegādes ķēdei, kas ir modelēšanas spēle, kuru 1960. gadā izstrādāja profesoru grupa, lai demonstrētu dažādas piegādes ķēdes vadības īpašības un izskaidrotu integrētās pieejas priekšrocības [BGA].

5. attēlā ir izmantoti šādi apzīmējumi:

T – periodu skaits;

Dt – patērētāja pieprasījums laika periodā t ;

$O4t$ – mazumtirgotāja pieprasījums laika periodā t ;

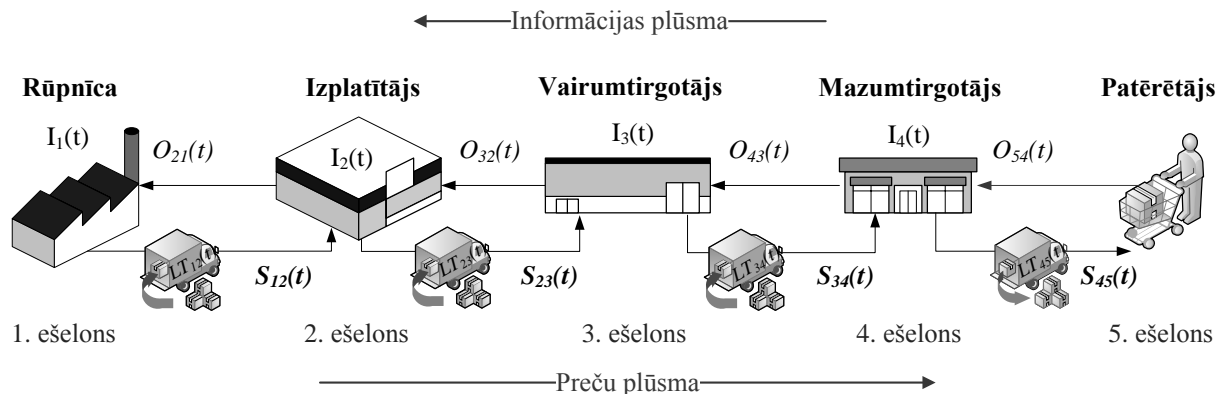
$O3t$ – vairumtirgotāja pieprasījums laika periodā t ;

$O2t$ – izplatītāja pieprasījums laika periodā t ;

$S4t$ – piegāde, ko saņēma mazumtirgotājs laika periodā t ;

$S3t$ – piegāde, ko saņēma vairumtirgotājs laika periodā t ;

$S2t$ – piegāde, ko saņēma izplatītājs laika periodā t .



5. att. Pieprasījumu piegādes ķēdes struktūra

Katrā periodā ešeloniem ir ar neizpildītiem pasūtījumiem saistītas izmaksas – 2 naudas vienības un krājumu glabāšanas izmaksas – 1 naudas vienība. Spēlē ir nospēlēti 52 periodi, kas atbilst 52 nedēļām un raksturo taktiskās plānošanas periodu (t.i., līdz 1 gadam, $N=52$). Katras nedēļas sākumā piegādes ķēdē parādās nenoteikts patērētāju pieprasījums D_N , kas promocijas darba eksperimentos ir definēts ar normālo sadalījumu (50;20). Katrs piegādes ķēdes dalībnieks saņem pasūtījumu no iepriekšējā ešelona, kas ir apzīmēts ar Slt (kur l – ešelona numurs un t – laika periods). Ja piegādes ķēdes ešelons nespēj izpildīt iepriekšējā līmeņa pasūtījumus (neizpildītie pasūtījumi Blt), tad tie tiks piegādāti nākošajā laika periodā, jo visi pasūtījumi ir jāizpilda. Piegādes laiks starp ešeloniem ir 2 nedēļas (bet ir veikti arī eksperimenti ar stohastisku pasūtījuma izpildes laiku). Tā pirmās nedēļas sākumā veiktais pasūtījums tiks piegādāts trešajā periodā. Rūpnīcai, t.i., pirmajam ešelonam, ir neierobežots krājumu daudzums, piegādātās preces vienmēr būs vienādas ar krājumu apjomu, ko pasūta izplatītājs.

Katra ešelona uzdevums ir noteikt, cik preču vienību jāpasūta no sava piegādātāja, t.i. noteikt Olt .

Spēles mērķis ir minimizēt kopējās izmaksas, ko veido krājumu izmaksas Ilt un neizpildīto pasūtījumu izmaksas Blt . Ir pieņemts, ka rūpnīcas iekārtās bojājumu nav, kā arī nevar gadīties preces bojājums katrā no trim krājumu izvietojuma vietām.

Sastādot problēmas matemātisko formulējumu, ir pieņemts, ka piegādes ķēdē ir īstenots „pasūtīt līdz S ” krājumu vadības algoritms, kas nosaka, ka katru periodu ešelons pasūta tik daudz, lai sasniegtu kādu krājumu mērķa līmeni [RUS 2009].

Izmantojot stohastiskās programmēšanas scenāriju pieeju, kur klientu pieprasījums ir aprakstīts ar scenāriju kokiem, uzdevuma optimizācijas modelis izskatās šādi (1) [SOS 2006, SOS 2007a, SOS 2009]:

$$\min \sum P_s \left(\sum_{l=2}^N \sum_{t=1}^T clt \cdot ils + \sum_{l=2}^N \sum_{t=1}^T elt \cdot blts \right),$$

$$o0ls = 0;$$

$$i0ls = 100;$$

$$b0ls = 0;$$

$$r(l-1, -2, s) = r(l-1, -1, s) = 0;$$

$$x5, t, s = Dts;$$

$$x2, t, s = r(1, t);$$

$$xlt_s = \zeta - i(l, t-1, s) + b(l, t-1, s) - o(l, t-1, s);$$

$$olts = o(l, t-1, s) + xlt_s - r(l-1, t-N, s);$$

$$blts = b(l, t-1, s) + x(l+1, t, s) - rlt_s;$$

$$ilt_s = i(l, t-1, s) + r(l-1, t-N, s) - rlt_s;$$

$$T, L, P_s > 0;$$

$$\zeta, N, Dts, clt, elt, xlt_s, ils, blts, rlt_s, olts \geq 0. \quad (1)$$

kur o_{lts} – katra ešelona attiecīgā perioda un scenārija pasūtījumu apjoms;
 i_{lts} – katra ešelona attiecīgā perioda un scenārija krājumu apjoms;
 b_{lts} – neizpildītie pasūtījumi;
 r_{lts} – katra ešelona attiecīgā perioda un scenārija piegādāto preču apjoms;
 x_{lts} – noteikta ešelona attiecīgā perioda un scenārija pasūtījumu apjoms;
 ζ – mērķa krājumu līmenis.
 c_{lt} – l -tā ešelona krājumu izmaksas periodā t .
 i_{lts} – katra scenārija l -tā ešelona krājumu apjoms periodā t ;
 e_{lt} – l -tā ešelona neizpildīto pasūtījumu izmaksas par periodu t ;
 b_{lts} – katra scenārija l -tā ešelona neizpildīto pasūtījumu daudzums periodā t ;
 T – laika horizonts;
 N – ešelonu skaits;
 P_s – scenāriju iestāšanās varbūtība.

Modeļa matemātiskais pieraksts AMPL matemātiskās modelēšanas valodā ir pievienots promocijas darba pilnteksta pielikumos.

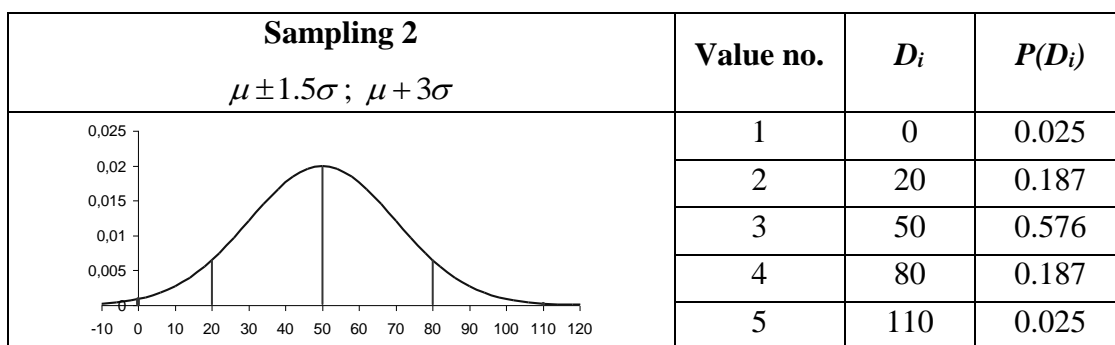
Pieprasījuma scenāriju ģenerēšana

Promocijas darbā pieprasījuma scenāriju ģenerēšanai ir izmantotas divas metodes:

1. scenāriju ģenerēšana ar empīrisko sadalījumu (gadījumā, kad nav pieejami vēsturiskie dati, var izmantot ekspertu novērtējumus);
2. scenāriju ģenerēšana ar teorētisko sadalījumu. Šajā gadījumā ir zināms teorētiskais sadalījums un scenāriju koks ir ģenerēts no vērtībām, ko apraksta ar uzdoto sadalījuma funkciju.

Tāpat promocijas darbā ir veikti eksperimenti par to, kā ģenerēt scenāriju koka vērtības:

1. kā gadījumlielumu, kuru ģenerē atbilstoši definētajam sadalījuma likumam. Promocijas darba eksperimentos ir pieņemts, ka pieprasījumu apraksta ar normālsadalījuma funkciju ($\mu = 50$; $\sigma = 20$);



6. att. Paraugu iegūšana no normālā sadalījuma (piemērs)

2. stohastisko parametru sadalījumu aizvietošana ar diskrēto sadalījumu ar ierobežotu iznākumu skaitu, ko definē eksperimentāli uzdevuma risināšanas gaitā. No normālā sadalījuma varbūtības blīvuma funkcijas grafika ir iegūti paraugi (angl. *samples*) – intervāli, kurus uzskatāmi ilustrē 6. attēls [SOS 2006, SMO 2004].

Izlases vidējā aproksimācijas metodes izmantošana optimizācijas uzdevumā

Izlases vidējā aproksimācijas metodes būtība un matemātiskais pamatojums ir aprakstīti vairākos zinātniskajos rakstos [KLY 2002, SHB 2002, TOM 2007, VER 2004, WEI 2004, SHM 2006, GRE 2006]. Promocijas darbā šīs metodes izmantošanas algoritms sastāv no četriem soļiem.

1. Ģenerē M savstarpēji neatkarīgu izlašu skaitu, kur katras izlases izmērs ir N . Katrai izlasei risina optimizācijas uzdevumu, pieraksta lēmuma mainīgā optimālo un mērķa funkcijas vērtības, attiecīgi \hat{x}_N^j, v_N^m .
2. Tad aprēķina visu risināmo uzdevumu mērķa funkcijas vērtību vidējo (2) un dispersiju (3):

$$\bar{v}_{N,M} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M v_N^m \quad (2)$$

$$\delta_{\bar{v}_{N,M}}^2 = \frac{1}{(M-1)*M} \sum_{m=1}^M (v_N^m - \bar{v}_{N,M})^2 \quad (3)$$

3. Starp visiem risināmā uzdevuma risinājumiem izvēlēties vienu. Parasti izvēlas labāko, dotajā uzdevumā tā ir lēmuma manīgā vērtība, kas atbilst minimālajai mērķa funkcijas vērtībai (4):

$$\hat{y}^* \in \arg \min [v_N^M : y_N^1, y_N^2, \dots, y_N^M] \quad (4)$$

Izmantojot \hat{x}^* risina optimizācijas uzdevumu ar scenāriju skaitu N' un iegūst $\hat{v}_{N,M}$. Šajā solī scenāriju izmērs N' ir daudz lielāks par pirmajā solī izmantoto N izmēru, t.i., $N' > N$. Aprēķina dispersiju pēc formulas (5):

$$\delta_{N'}^2(\bar{x}) = \frac{1}{(N'-1)*N} \sum_{n=1}^{N'} (c^T \bar{x} + Q(\bar{x}, \xi^n) - \tilde{f}_{N'}(\bar{x}))^2 \quad (5)$$

4. Aprēķina izlases vidējā aproksimācijas metodes galvenos novērtējumus: optimalitātes intervālu (6) un tā dispersiju (7) (*angl. optimality gap, variance*):

$$\delta_{gap}^2 = \delta_{N'}^2(\bar{x}) + \delta_{\bar{v}_{N,M}}^2 \quad (6)$$

$$gap_{N,M,N'}(\bar{x}) = \tilde{f}_{N'}(\bar{x}) - \bar{v}_{N,M} \quad (7)$$

Papildus aprakstītajai procedūrai promocijas darbā ir ieviests parametrs %gap [SOS 2009]. Šo parametru var izmantot metodes interpretācijai, jo mazāka ir tā vērtība, jo labāks (stabilāks) ir iegūtais optimizācijas risinājums.

Pielietojot izlases vidējā aproksimācijas metodi stohastisko problēmu risināšanā, optimalitātes intervāla nozīme ir šāda: jo lielāka ir novērtējuma vērtība, jo mazāk uzticams ir atrastais risinājums. Tomēr SAA metodes izmantošana rezultātu novērtēšana dažreiz ir subjektīva. Gadījumu izpētes rāda, ka dažos uzdevumos atrastais risinājums ir labs pat ar sliktu to novērtējumu pēc SAA metodes [KLY 2002, WEI 2004]. Katrā atsevišķā uzdevumā optimalitātes intervāla (*gap*) novērtējumu ietekmē M , N , N' kā arī stohastiskā parametra raksturs, tāpēc katrai problēmai jāveic eksperimenti, noskaidrojot minēto parametru piemērotākās vērtības, lai optimizācijas rezultāts būtu uzticams.

Izlases vidējā aproksimācijas metodes pielietošana konkrēta uzdevuma risināšanā ir lietderīga, lai noskaidrotu stohastiskā parametra aprakstīšanai nepieciešamo scenāriju skaitu, kā arī, lai novērtētu risinājumu. Ja problēmas risināšanas gaitā uzdevuma mainīgo īpašības nemainās, tad nav nepieciešams atkārtot metodi, katru reizi risinot optimizācijas uzdevumu. Promocijas darba pētījumos izlases vidējā aproksimācijas metode ir īstenota daļēji ar AMPL matemātiskās modelēšanas valodas [AMPL] palīdzību, daļēji veicot aprēķinus MS Excel elektroniskajās tabulās.

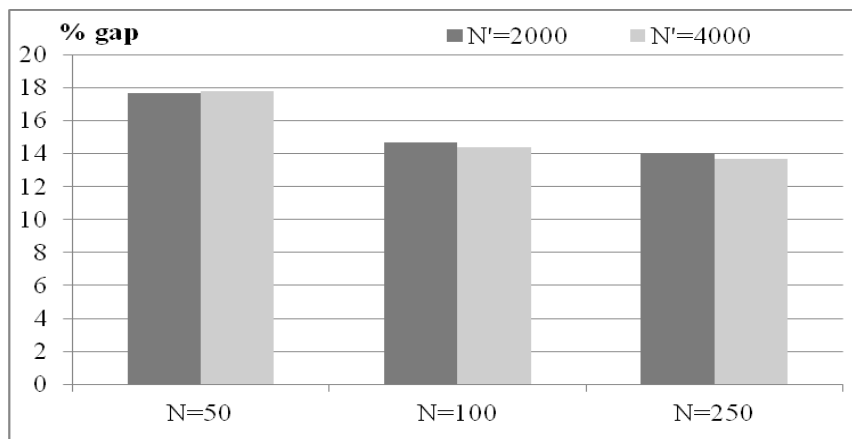
Promocijas darba eksperimentu gaitā ir piedāvāts apvienot izlases vidējā aproksimācijas metodes realizāciju ar pētāmās piegādes ķēdes imitācijas modeli. Tas ļauj vienkāršot izlases vidējā aproksimācijas metodes realizāciju un vienlaicīgi novērtēt piegādes ķēdes darbību ar optimizētajām vadības parametru vērtībām, izmantojot tādas kritērijus kā krājumu izmaksas, klientu apkalpošanas līmenis u.c. [SOS 2009, SOS 2010]. Pamatojoties uz šo kritēriju vērtībām, piegādes ķēdes vadītājs var pieņemt matemātiski pamatotu lēmumu par piemērotāko krājumu vadības algoritma parametru vērtību izvēli taktiskajā plānošanas periodā.

Promocijas darba pētījumos ir veikti vairāki eksperimenti, ko shematiski attēlo 4. att., ar šādiem mērķiem:

1. pārbaudīt kā mainās risinājums atkarīgi no ģenerēto scenāriju daudzuma N un N' un atrast piemērotāko dotajam uzdevumam;
2. pārbaudīt kā mainās risinājums, mainot x^* izvēles kritēriju izlases vidējā aproksimācijas metodes trešajā solī (tradicionāli izlases vidējā aproksimācijas metodē izvēlas tādu x^* , kas atbilst labākajam risinājumam, risinot uzdevumu M reizes; dotajā eksperimentā ir ņemta vidējā lēmumu mainīgā vērtība M eksperimentos);
3. pārbaudīt, kā mainīsies rezultāts, ja pielietotu scenāriju ģenerēšanu kā gadījumlielumu no uzdotā sadalījuma.

Veicot eksperimentus ir iegūti šādi rezultāti:

1. Pie $M = 10$ piemērotākais scenāriju skaits N ir vienāds ar 250, bet N' ar 2000 ($M = 10, N = 250, N' = 2000$). Skaidrs, ka, palielinoties scenāriju skaitam, rezultāta novērtējums uzlabojas un tā dispersija samazinās, tomēr šeit svarīgi arī ņemt vērā modelēšanas laika ierobežojumus. Pie $N'=2000$ un $N'=4000$ %gap vērtības atšķiras nebūtiski (sk. 7. att.), bet skaitļošanas laiks pie $N'=4000$ palielinās.
2. Atsevišķi ir veikta eksperimentu sērija ar mērķi noskaidrot x^* izvēles principu. Parasti rekomendē ņemt tādu lēmuma mainīgo vērtību, kas atbilst risināmās problēmas optimālajai optimizācijas kritēriju vērtībai (šajā uzdevumā – minimālajām kopējām izmaksām). Eksperimentāli ir pārbaudīts, vai x^* izvēle ietekmēs rezultāta novērtējumu. Ja $x^* = \operatorname{argmin}(v(x))$, tad %gap = 26.20, bet ja $x^* = \operatorname{AVG}(X)$, tad %gap = 10.14 (pie $M = 100, N = 100, N' = 2000$). Tas ļauj secināt, ka šim uzdevumam, pielietojot SAA metodi, 3.solī lietderīgi ir izmantot $x^* = \operatorname{AVG}(X)$.
3. Veidojot pieprasījuma scenārijus, ir veikti eksperimenti, ģenerējot scenāriju ar gadījumlielumiem no uzdotā sadalījuma. Ir eksperimentāli pierādīts, ka šādi ģenerējot scenāriju tiek iegūts optimizācijas rezultāts ar labāko novērtējumu: %gap = 10.14 (scenāriju ģenerēšana no paraugiem) un %gap=4.09.



7. att. %gap izmaiņas pie dažādām N

Veikto eksperimentu rezultāti un to gaita demonstrē izlases vidējā aproksimācijas metodes pielietošanas iespējas daudzešelonu piegādes ķēdes krājumu vadības uzdevumā, šīs metodes parametru definēšanu, kā arī scenāriju skaita definēšanu. Piegādes ķēdes taktiskās optimizācijas un modelēšanas uzdevumā nav nepieciešamības izmantot SAA metodi, katru reizi risinot optimizācijas uzdevumu. Līdzko ir definēts uzdevumam piemērots scenāriju skaits, kas atbilst vēlamajai risinājuma novērtējuma vērtībai, tā katru nākamo reizi, atkārtojot promocijas darbā izstrādāto pieejas procedūru, šo soli var izlaist, ja risināmā uzdevuma parametri būtiski nemainās.

Eksperimenti ar dažādu piegādes ķēdes krājumu vadīšanas pieeju modelēšanu optimizācijas uzdevumā

Promocijas darbā ir veikti vairāki eksperimenti ar optimizācijas modeli, lai noskaidrotu optimālo stratēģiju kopīgo izmaksu minimizēšanai. Ir formulētas divas stratēģijas:

- mērķa krājumu līmeņa stratēģija;
- pasūtījumu stratēģija.

Mērķa krājumu līmeņa stratēģijā jānosaka tāds mērķa krājumu līmenis (lēmumu mainīgais optimizācijas modelī), pie kura varētu izpildīt piegādes ķēdes pieprasījumu, minimizējot izmaksas. Pasūtījumu stratēģija balstās uz optimālā pasūtījuma daudzuma definēšanu katrā ešelonā.

4.tabula

Stratēģiju modelēšanas rezultātu salīdzinājums

Piegādes ķēdes veiktspējas rādītāji	Mērķa krājumu līmeņa stratēģija	Pasūtījumu stratēģija
Klientu apkalpošanas līmenis, %	73	96
Kopējas izmaksas	136	447.85
Vidēji krājumi, gab.	60	395

Eksperimenti rāda, ka pasūtījumu stratēģijas optimizācijas rezultāti ar mazāku %gap vērtību nodrošina lielāku piegādes ķēdes stabilitāti, darbojoties pie stohastiskā pieprasījuma un pasūtījuma izpildes laika. Tomēr tas ir sasniegts ar augstāku kopējo izmaksu vērtību (sk. 4. tabula; veikspējas rādītāju formulas ir aprakstītas promocijas darba pilntekstā). No stratēģijas realizācijas viedokļa promocijas darbā ir secināts, ka piemērotāka ir mērķa krājumu līmeņa stratēģija, jo šajā gadījumā ir viens vadības mainīgais (t.i. mērķa krājumu līmenis) visā taktiskās plānošanas periodā.

5. tabula

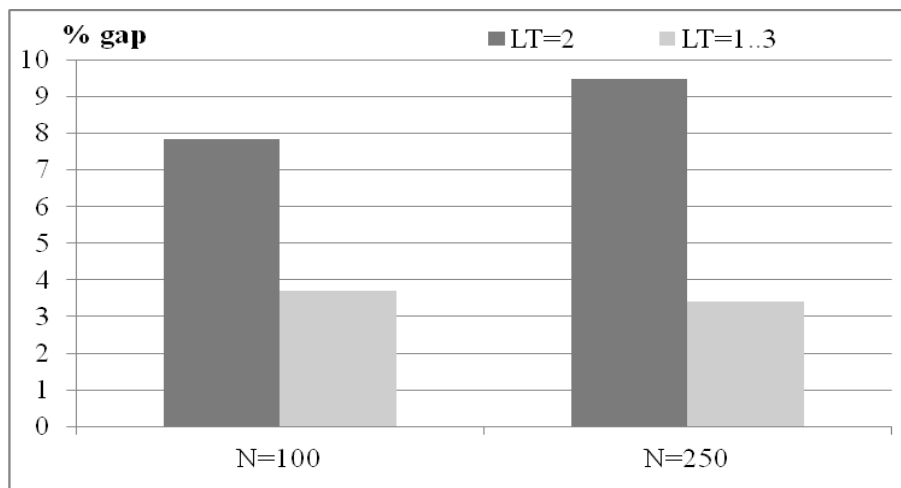
SAA metodes rezultātu salīdzinājums ar konstantu un stohastisku pasūtījuma izpildes laiku (*pasūtījumu stratēģija*)

<i>M</i>	Pasūtījuma izpildes laiks = 2			Pasūtījuma izpildes laiks = 1, 2, 3		
	<i>N</i> = 50	<i>N</i> = 100	<i>N</i> = 250	<i>N</i> = 50	<i>N</i> = 100	<i>N</i> = 250
1	6063.20	6179.70	6214.32	9445.13	9821.18	9803.12
2	6627.40	6189.80	6158.32	9942.00	9824.13	9750.86
3	7175.80	6003.40	6778.08	10394.50	9429.38	10478.10
4	6034.60	6994.50	6457.12	9440,18	10691.10	10101.80
5	6601.80	6520.50	6425.52	9975.50	10098.50	10175.30
6	5835.40	6250.20	6591.56	9119.35	9902.77	10274.60
7	7091.40	6181.80	5757.40	10434.30	9520.50	9409.16
8	6122.80	6301.60	6181.28	9405.97	9773.23	9782.36
9	6707.80	6508.30	6096.40	10179.50	10192.70	9749.89
10	6518.60	6830.00	6596.60	9855.63	10315.50	10021.30
$v_N^j \min$	5835.40	6003.40	5757.40	9119.35	9429.38	9409.16
$v_N^j \max$	7175.80	6994.50	6778.08	10434.30	10691.10	10478.10
$\bar{v}_{N,M}$	6477.88	6395.98	6325.66	9819.21	9956.90	9954.65
$\sigma_{\bar{v}_{N,M}}$	143.88	99.67	95.03	142.37	119.48	99.15
$\tilde{f}_{N'}(\bar{y})(2000)$	6780.17	5929.36	5793.39	11007.48	9121.48	9601.69
$\sigma_{N'}(\bar{y})(2000)$	70.39	68.65	68.44	68.66	62.95	64.21
<i>gap</i> (2000)	302.29	466.62	532.27	1188.27	835.42	352.96
% <i>gap</i> (2000)	4.46	7.87	9.19	10.80	9.16	3.68
$\sigma_{gap}(2000)$	160.17	121.03	117.11	158.06	135.04	118.13
$\tilde{f}_{N'}(\bar{y})(4000)$	6701.48	5932.05	5778.75	10414.01	10339.80	9626.24
$\sigma_{N'}(\bar{y})(4000)$	50.57	49.73	49.55	48.59	44.86	46.18
<i>gap</i> (4000)	223.60	463.93	546.91	594.80	382.90	328.41
% <i>gap</i> (4000)	3.34	7.82	9.46	5.71	3.70	3.41
$\sigma_{gap}(4000)$	152.51	111.39	107.17	150.43	127.62	109.38

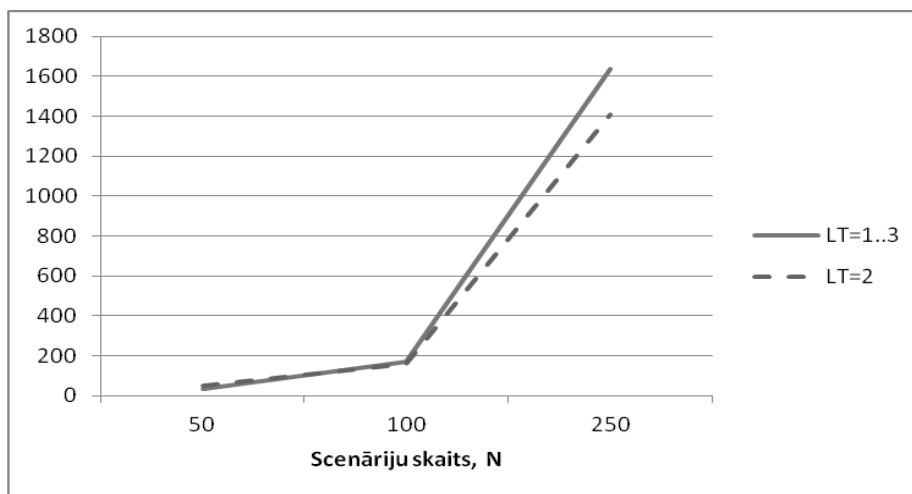
Eksperimenti ar stohastisko pasūtījuma izpildes laiku

Promocijas darba pētījumos ir veikti eksperimenti ar uzdevuma optimizācijas modeļa stohastiskajiem lielumiem. Krājumu vadības analītiskie modeļi paredz, ka krājumu vadības algoritmos pieprasījums un pasūtījuma izpildes laiks var būt gadījuma lielumi, ko apraksta ar normālo sadalījumu. Tāpēc promocijas darbā ir veikti eksperimenti ar mērķi pārbaudīt izstrādātā optimizācijas modeļa darbību ar diviem stohastiskiem lielumiem un novērtēt atrasto optimizācijas rezultātu. Rezultātu apkopojums ir redzams 5. tabulā.

Analizējot 5. tabulas datus var secināt, ka modelis ar stohastisko pieprasījumu un pasūtījuma izpildes laiku ir labāks, jo šī modeļa optimizācijas rezultāta novērtējums (%gap vērtība) ir gandrīz divreiz mazāks, nekā gadījumā ar nemainīgu pasūtījuma izpildes laiku. Tomēr, tas ir sasniegts augstā krājumu mērķa līmeņa atrastās vērtības dēļ, kas rezultātā dod arī lielākas kopējās izmaksas. Būtiski palielinās arī optimizācijas modeļa skaitļošanas laiks (sk. 9. att.) un rezultāta novērtējuma pēc SAA metodes laiks.



8. att. % gap izmaiņas ar stohastisko un konstanto pasūtījuma izpildi



9. att. Optimizācijas modeļa skaitļošanas laiks
(Pentium Dual Core T2390, 1.86 GHz, 2048 MB RAM)

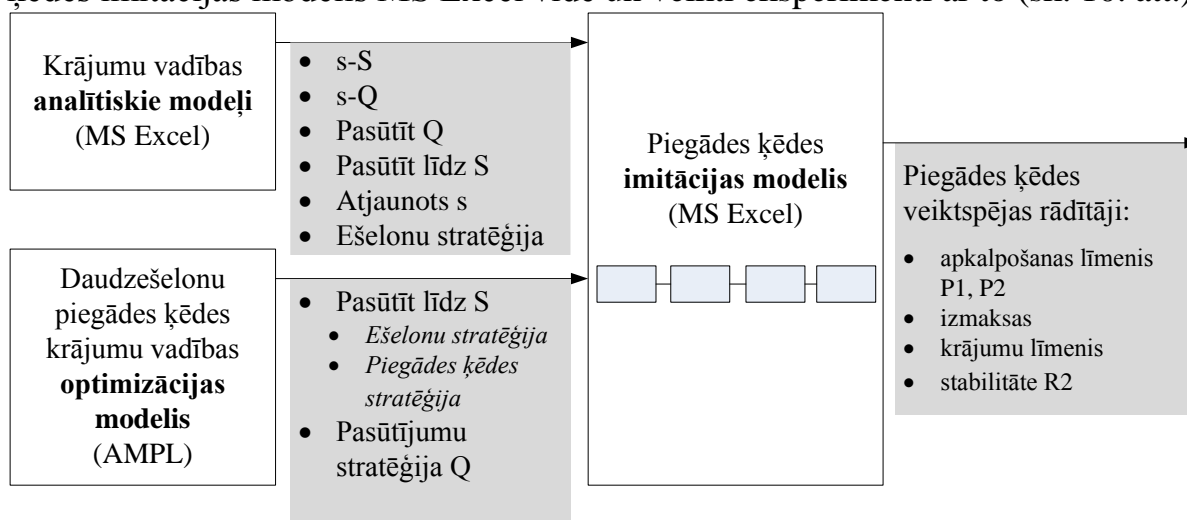
Šo eksperimentu rezultātā ir secināts, ka optimizācijas modelī ar stohastisko pieprasījumu nav lietderīgi definēt stohastisku pasūtījuma izpildes laiku kā stohastisku lielumu, jo tas palielina skaitļošanas laiku un rezultātā piedāvā risinājumu, kas ir sasniegts augsto piegādes ķēžu kopējo izmaksu dēļ. Promocijas darbā izstrādātā modelēšanā sakņotā daudzvešelonu piegādes ķēžu taktiskās vadīšanas pieeja paredz, ka optimizācijas modelī tikai viens no ieejas parametriem var būt stohastisks. Pārējo stohastisko parametru ietekmi uz piegādes ķēdi ar optimizēto lēmuma mainīgā vērtību var novērot piegādes ķēdes imitācijas modelī, un vienlaikus veikt optimizētā mainīgā pielāgošanu sistēmas darbībai.

Eksperimenti ar piegādes ķēdes imitācijas modeli

Promocijas darbā ir veikti vairāki eksperimenti ar dažādām piegādes ķēdes krājumu vadības pieejām un stratēģijām. Risinot daudzvešelonu piegādes ķēdes krājumu optimizācijas uzdevumu, ir veikti eksperimenti ar šādām stratēģijām:

1. Ešelonu stratēģija, kas paredz, ka mērķa krājumu līmenis katram ešelonam var būt atšķirīgs.
2. Piegādes ķēdes stratēģija, kas paredz, ka mērķa krājumu līmenis ir vienāds visā piegādes ķēdē.

Lai salīdzinātu vairāku pieeju un stratēģiju rezultātus, kā arī optimizācijas rezultātus ar krājumu vadības analītiskajiem modeļiem, ir izstrādāts piegādes ķēdes imitācijas modelis MS Excel vidē un veikti eksperimenti ar to (sk. 10. att.).



10. att. Eksperimentu ar imitācijas modeli shēma

Imitācijas modelis ir izstrādāts MS Excel vidē. Tas pilnībā atbilst promocijas darba pētījumos modelētajai piegādes ķēdei un ieejas datiem. Modelis attēlo piegādes ķēdes darbību ar definētajām krājumu vadības algoritmu parametru vērtībām, kuras aprēķina vai nu ar analītiskajiem modeļiem, vai ar optimizācijas modeļiem, taktiskās plānošanas laika horizontā (t.i., 52 nedēļas). Imitācijas modeļa ieejas dati ir pieprasījums, pasūtījumu izpildes laiks un krājumu vadības algoritmu parametru vērtības. Modeļa izejas dati ir piegādes ķēdes veiktspējas rādītāji:

- P1 ir servisa līmeņa rādītājs;
- P2 otrais servisa līmeņa rādītājs, procentuāli nosaka pieprasījuma apmierinātību dotajā laikā periodā. P2 ir starpība starp gala patērētāja pieprasījumu un aizsūtītās preces apjomu esošajā periodā;
- vidējais krājumu apjoms periodā;
- sistēmas izmaksas;
- rezultātu izkliede.

Rezultātu analīzei ir nepieciešams veikt to normēšanu. Lai novērtētu promocijas darba pētījumos izmantotos krājumu vadības algoritmus, ir izmantota nosvērtās summas metode, kuras gaitā alternatīvas salīdzina pēc pieciem kritērijiem atbilstoši 6. tabulā norādītajiem piegādes ķēdes veiktspējas rādītājiem.

6. tabula

Modelēšanas rezultātu apvienotā tabula (rezultātu fragments)

Krājumu vadības algoritms	Piegādes ķēdes veiktspējas rādītāji					Vērtējums pēc nosvērtas summas
	P1, %	P2, %	Vid. krājumi, gab.	Izmaksas	R2, %	
<i>Analītiskie aprēķini</i>						
s-S	99.36	99.61	239	268	5.00	0.68
s-Q	97.37	98.85	362	522	7.00	0.59
Pasūtīt līdz S	95.19	99.00	138	183	13.12	0.77
Pasūtīt Q	90.13	99.29	352	420	20.84	0.56
Atjaunots s	92.18	95.66	143	182	12.79	0.76
Ešelonu	95.00	99.13	189	253	7.81	0.70
<i>Optimizācijas rezultāti</i>						
Ešelonu	78.72	94.42	65	138	18,23	0.92
Piegādes ķēdes	71.60	93.03	66	140	22.61	0.89
Pasūtījuma	95.77	98.83	420	464	15.43	0.57

Ar vienādiem kritēriju svāriem optimizācijas gaitā iegūtās krājumu vadības parametru vērtības nodrošina labāko piegādes ķēdes darbību. Tomēr nedrīkst viennozīmīgi teikt, ka optimizācijas modeļa rezultāti ir labāki par analītisko modeļu rezultātiem, jo pie citiem ieejas datiem vai mainot veiktspējas rādītāju svarus, rezultāti var būtiski mainīties. Promocijas darbā izstrādātās pieejas galvenais mērķis ir atbalstīt matemātiski pamatotu lēmumu pieņemšanu daudzešelonu piegādes ķēžu taktiskajā vadīšanā.

Promocijas darba trešajā daļā ir secināts:

- *Stohastiskās optimizācijas scenāriju pieejas izmantošana krājumu vadīšanas uzdevumos ļauj risināt daudzēšelonu piegādes ķēdes krājumu vadības uzdevumu ar stohastisko pieprasījumu un pasūtījuma izpildes laiku.*
- *Izlases vidējā aproksimācijas metode dod iespēju risināt stohastiskās optimizācijas uzdevumus ar mazāko scenāriju skaitu, tomēr ir nepieciešama metodes parametru pielāgošana katrā risināmajā uzdevumā.*
- *SAA metodes paraugu skaitu palielināšana rada nenoteiktības ietekmes samazināšanos iegūtajos risinājumos.*
- *Optimizācijas modeļa īstenošana ar nelielu scenāriju skaitu nevar uztvert nenoteiktības ietekmi uz piegādes ķēdes darbību. Tomēr liels scenāriju skaits rada traucējumus skaitļošanas rezultātos un būtiski palielina skaitļošanas laiku.*
- *Izlases vidējā aproksimācijas metodes realizācija imitācijas modelī ļauj vienkāršot metodes pielietošanu un vienlaicīgi novērtēt piegādes ķēdes darbību ar optimizētajām vadības parametru vērtībām, izmantojot tādas kritērijus kā krājumu izmaksas, klientu apkalpošanas līmenis u.c.*
- *Nav lietderīgi optimizācijas modelī ar stohastisko pieprasījumu definēt stohastisku pasūtījuma izpildes laiku kā stohastisku lielumu, jo tas palielina skaitļošanas laiku. Pārējo stohastisko parametru ietekmi uz piegādes ķēdi ar optimizēto lēmuma mainīgā vērtību var novērot piegādes ķēdes imitācijas modelī un vienlaikus veikt optimizētā mainīgā pielāgošanu sistēmas darbībai.*

Promocijas darba **ceturtajā sadaļā „Modelēšanā sakņotas pieejas izmantošana Latvijas uzņēmumos”** ir izstrādātas un aprakstītas problēmsituācijas, kuru risināšanā ir izmantota promocijas darbā piedāvātā modelēšanā sakņotā piegādes ķēžu vadīšanas pieeja vai tās elementi. Visi trīs praktiskie piemēri ir izstrādāti, sadarbojoties ar Latvijas uzņēmumiem, un to rezultāti ir pozitīvi novērtēti, par ko arī ir atbilstošas uzņēmumu atsauksmes. Īpaši novērtēti ir krājumu vadības imitācijas modeļi, kuri ļauj pilnveidot lēmumu pieņemšanu attiecīgo uzņēmumu krājumu vadīšanā.

Pirmajā piemērā ir risināts krājumu vadības uzdevums uzņēmumā „*King Coffee Service*” [SOS 2010]. Uzņēmumam ir piegādes ķēde Baltijas reģionā, tāpēc uzdevums tika risināts divos etapos. Sākumā, lai uzņēmuma darbiniekiem būtu vieglāk saprasts piedāvātās modelēšanā sakņotās pieejas būtību un izstrādātos modeļus, uzdevums tika risināts uzņēmuma piegādes ķēdes vienā ešelonā, t.i., noliktavās Rīgā. Paplašinoties piegādes ķēdei, tika risināts krājumu vadības uzdevums divu ešelonu piegādes ķēdē (noliktavas Latvijā un Lietuvā).

Modelēšanā sakņotās pieejas ieviešanas laikā ir izstrādāti un izmantoti šādi modeļi uzņēmuma vajadzībām:

1. krājumu vadības analītiskie modeļi ar klientu apkalpošanas līmeņa uzstādītajām vērtībām 95% un 100%: s-S, „pasūtīt līdz S” un s-Q, Q-p;

2. krājumu vadības algoritma „pasūtīt līdz S” optimizācijas modelis, kas ir īstenots AMPL matemātiskās modelēšanas valodā un programmatūrā;
3. imitācijas modeļi, kas īsteno dažādus krājumu vadības algoritmus. Pamatojoties uz imitācijas modeļu rezultātiem, uzņēmuma „*King Coffee Service*” noliktavas pārzinis var pieņemt lēmumu par piemērotāko krājumu vadības stratēģiju.

Lai salīdzinātu visus imitācijas modelēšanā iegūtos rezultātus, ir veikta visu krājumu modeļu daudzkritēriju analīze, izmantojot nosvērtās summas metodi. Rezultāts viena ešelona piegādes ķēdei ar 95 % servisa līmeni ir parādīts 7. tabulā. Divu ešelonu piegādes ķēdes gadījumā lēmumu pieņemšana ir daudz komplicētāka, jo ir nepieciešams ņemt vērā kopējos piegādes ķēdes darbības rādītājus. Pēc būtības, izstrādātie modeļi papildina uzņēmuma informācijas sistēmas funkcionalitāti ar jaunu analītisko funkciju loģistikas lēmumu pieņemšanas atbalstam.

7. tabula

Rezultātu salīdzinājums pēc nosvērtās summas metodes

Stratēģija	Servisa līmenis, %	Rezultāts
s-S	95%	0.844
	100%	0.831
pasūtīt līdz S	95%	0.834
	100%	0.765
s-Q	95%	0.849
	100%	0.832
Q-p		0.649
pasūtīt līdz S opt		0.838

Otrajā praktiskajā piemērā ir risināts krājumu vadīšanas uzdevums uzņēmumā „*Biosan*”. Lai vienkāršotu modelēšanā sakņotās pieejas ieviešanu uzņēmumā, tā aprobēta uzņēmuma iepakošanas departamenta darbībai, un rezultātā ir izstrādāta uzņēmuma krājumu vadības lēmumu pieņemšanas procedūra. Uzdevuma risināšanai ir izstrādāti un izmantoti šādi modeļi:

1. uzņēmuma biznesa procesu modelis, kas ir paredzēts ražošanas biznesa procesu aprakstīšanai, kas tiešā veidā ietekmē krājumu vadīšanas stratēģiju iepakošanas departamentā;
2. nepārtrauktās un periodiskās pārbaudes krājumu vadības analītiskie modeļi;
3. produktu ABC klasifikācijas modelis pēc vairākiem faktoriem;
4. iepakošanas departamenta krājumu vadības modeļi, kas ļauj salīdzināt nepārtrauktās un periodiskās krājumu pārbaudes stratēģijas.

Imitācijas modelēšanas gaitā ir iegūti rezultāti, kas salīdzina nepārtrauktu un periodisku krājumu vadības stratēģijas (sk. 8. tabula).

Krājumu vadības stratēģiju salīdzinājums

Stratēģijas nosaukums	P1, %	P2, %	Vid. krājumu daudzums, gab.	R2, %	Neizpildītie pasūtījumi, gab.
Nepārtraukta	0.992	0.996	298	14	12
Periodiska	0.968	0.986	185	14	66

Šī uzdevuma risināšanas gaitā ir izstrādāts un aprobēts analītiskais ietvars uzņēmuma loģistikas lēmumu pieņemšanas atbalstam, kas papildina uzņēmuma esošo informācijas sistēmu ar jaunām analītiskām iespējām.

Trešajā praktiskajā piemērā ir risināts uzņēmuma „Zepter International AG” uzdevums par piegādes ķēdes struktūras plānošanu un resursa, t.i., sadales centra, izvietojumu Baltijas reģionā, balstoties uz uzņēmuma preču realizācijas datiem Baltijas valstīs. Šis uzdevums nav klasisks taktiskās plānošanas uzdevums, tomēr tā specifika atļauj izmantot izstrādātās modelēšanā sakņotās piegādes ķēdes vadīšanas pieejas elementus, proti: analītiskais modelis, optimizācijas modelis, imitācijas modelis (īstenots piegādes ķēžu imitācijas modelēšanas vidē LORD). Vadoties no iegūtajiem rezultātiem, jau tiek optimizēta piegādes sistēma uzņēmumā “Zepter International AG”, kas paredz pilnīgu preču sadales centralizāciju Latvijas, Lietuvas un Igaunijas preču tirgos un optimālais izplatīšanas centrs atradīsies uz Latvijas un Lietuvas robežas [SOS 2007b].

Promocijas darba ceturtajā daļā ir secināts:

- *Latvijas uzņēmumos izmantotas informācijas sistēmas (jā tādas vispār tiek izmantotas) pieder pie transakciju apstrādes sistēmām un nenodrošina vairākas plānošanas un analītiskās funkcijas, kā piemēram, krājumu vadības funkcijas.*
- *No uzņēmēju puses ir novērota interese modelēšanā sakņotu analītisko līdzekļu izstrādē, kas var atbalstīt loģistikas lēmumu pieņemšanu.*
- *Promocijas darbā izstrādātas pieejas un to elementu izmantošana uzņēmumu loģistikas lēmumu pieņemšanā ļauj pilnveidot uzņēmuma darbību un sakārtot krājumu vadīšanas procedūras, papildinot tās ar atbilstošu matemātisko modeļu kompleksu.*

PROMOCIJAS DARBA REZULTĀTI UN SECINĀJUMI

Promocijas darba ietvaros ir izstrādāta modelēšanā sakņota daudzešelonu piegādes ķēžu vadīšanas pieeja, kas paredz izmantot stohastiskās programmēšanas scenāriju pieeju piegādes ķēžu uzvedumu risināšanai ar stohastiskiem ieejas parametriem. Izstrādātā pieeja ir aprobēta četru ešelonu piegādes ķēdes krājumu vadīšanas uzdevumā ar stohastisku pieprasījuma daudzumu un pasūtījuma izpildes laiku.

Promocijas darba izstrādes laikā ir iegūti šādi rezultāti:

1. Definēti piegādes ķēžu darbības kritēriji, kas ļauj novērtēt piegādes ķēdes vadīšanas mērķu sasniegšanu.
2. Izstrādātas vadlīnijas modelēšanas pieeju izvēlei piegādes ķēžu vadīšanas uzdevumu risināšanā.
3. Izstrādāta modelēšanā sakņota daudzšelonu piegādes taktiskās vadīšanas pieeja.
4. Veikta izstrādātās pieejas aprobācija daudzšelonu piegādes ķēdes krājumu vadības uzdevumā.
5. Noformulēts daudzšelonu piegādes ķēdes krājumu vadības optimizācijas modelis, kas īsteno „pasūtīt līdz S” krājumu vadības algoritmu.
6. Veikta eksperimentu sērija ar izlases vidējā aproksimācijas metodes parametru pielāgošanu risināmajam uzdevumam.
7. Izstrādāti praktiski piemēri, kas ilustrē modelēšanā sakņotas pieejas izmantošanu daudzšelonu piegādes ķēdes krājumu vadības un loģistikas tīkla resursu izvietojuma uzdevumos.

Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem ir veikti šādi secinājumi:

1. Daudzšelonu piegādes ķēžu vadīšana prasa vienlaicīgu vairāku loģistikas resursu integrētu vadīšanu ar vienotu mērķi paaugstināt visas daudzšelonu piegādes ķēdes darbību.
2. Piegādes ķēžu vadīšanā aktualizējas procesu pieeja, kas paredz deskriptīvu modeļu izstrādi un var kalpot par konceptuālu pamatu matemātisko (optimizācijas un imitācijas) modeļu izstrādei.
3. Taktiskās optimizācijas un modelēšanas sistēmas, kas pieder analītisko piegādes ķēžu vadīšanas informācijas sistēmu klasei, ir mazāk attīstītas piegādes ķēžu vadīšanā tāpēc aktuāla ir transakciju informācijas sistēmu papildināšana ar analītiskām funkcijām.
4. Stohastiskās programmēšanas scenāriju pieejas izmantošana piegādes ķēžu taktiskās vadīšanas uzdevumu risināšanā ļauj pārvarēt skaitļošanas problēmas, kas saistītas ar ieejas parametru stohastisko raksturu. Šajā pieejā būtiski ir izvēlēties piemērotāko scenāriju skaitu un ģenerēšanas metodi.
5. Izlases vidējā aproksimācijas metodes īstenošana imitācijas modelī ļauj samazināt kopējo eksperimentu laiku un vienlaicīgi novērtēt optimizācijas risinājumu un modelētās sistēmas uzvedību.

Kā attīstības perspektīvas var iezīmēt vairākus darbības virzienus:

1. Piegādes ķēdes SCOR modeļa elementu izmantošana daudzšelonu piegādes ķēdes optimizācijas un imitācijas modeļu izstrādē.
2. Daudzšelonu piegādes ķēdes vadīšanas lēmumu robustuma analīze, novērtējot optimālā intervālu izlases vidējās aproksimācijas metodē.
3. Daudzšelonu piegādes ķēdes krājumu vadības lēmumu pilnveidošana, definējot servisa līmeņa koeficientu optimizācijas kritērija veidā.

4. Piegādes ķēdes stohastisko parametru scenāriju ģenerēšanas pieejas izstrāde un integrēšana optimizācijas modelī, nodrošinot arī stohastisko parametru prognozēšanu plānošanas horizontā.

PATEICĪBA

Promocijas darba autore izsaka pateicību Ģentes Universitātes Industriālas vadības departamenta profesoram El-Houssaine Aghezzafam par viņa atsaucību un zinātniskajām vadlīnijām, veicot eksperimentus ar izlases vidējā aproksimācijas metodes izmantošanu daudzvešelonu piegādes ķēdes optimizācijas uzdevumā.

LITERATŪRA

- [AMPL] A Modeling Language for Mathematical Programming, [Online], Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.ampl.com> [Resurss aprakstīts: 2013].
- [BAI 2002] Bai X., Tsai W., Feng K., Yu L. Paul R. Scenario-Based Modelling and its Applications // Proceedings of the Seventh IEEE International Workshop on Object-Oriented Real-Time Dependable Systems. – Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2002. - pp. 253.
- [BAL 1999] Ballou R. H. Business logistics management. – USA: Prentice-Hall International Inc., 4th edition, USA, 1999. – 816 p.
- [BER] Beraldi P., De Simone F., Violi A. Generating scenario trees: A parallel integrated simulation optimization approach // Journal of Computational and Applied Mathematics. – 2010. – Vol 233. – Iss. 9. – pp. 2322-2331.
- [BGA] Beergame Guide, [Online], Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.beergame.org/the-game> [Resurss aprakstīts: 2013].
- [BIR 1997] Birge J., Louveaux F. Introduction to Stochastic Programming. New York: Springer Verlag Inc, 1997. 421 p.
- [BOC 2008] Бочкарев А. А. Планирование и моделирование цепи поставок. Учебно-практическое пособие. Альфа-Пресс, 2008. – 193 стр.
- [BOL] Bolstorff P., From chaos to control, 2008, [Online], Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://www.supplychainquarterly.com/topics/Strategy/> [Resurss aprakstīts: 2013].
- [CHI 1999] Chidambaram S., Whitman L., Cheraghi H. S. A Supply Chain Transformation Methodology // Proceedings of the 4th Annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice. - San Antonio, Texas, USA: 1999. - pp. 17-20.
- [DOM 2006] Domenica N. D., Cormac L., Mitra G., Valente P. Scenario generation for stochastic programming and simulation: a modelling perspective // IMA J Management Math. – 2006. - Vol. 20, - pp. 1-38.
- [GRE 2006] Greenwald A., Guillemette B., Naroditskiy V., Tschantz M. Scaling up the Sample Average Approximation Method for Stochastic Optimization with Applications to Trading Agents // Lecture Notes in Computer Science: Agent-Mediated Electronic Commerce. Designing Trading Agents and Mechanisms. – Springer Berlin: Heidelberg, 2006. - pp. 187-199.

- [GRO 2003] Grow-Kuska N., Heitsch H., Romisch W. Scenario reduction and scenario tree construction for power management problems // Proceedings of IEEE Power Tech Conference. - Bologna, 2003.
- [HAI] Haibo Z. A Unified Modeling Language for Describing Supply Chain Management in Retail Sector, [Online], Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL:<http://www.seiofbluemountain.com/upload/product/201002/1265261580ibwql255.pdf> [Resurss aprakstīts: 2013].
- [HER 2008] Hernández J. E, Poler R, Mula J, Peidro D. A collaborative knowledge management framework for supply chains. A UML-based model approach // Journal of Industrial Engineering and Management - 2008. - Vol. 2. - No. 2. - pp. 77-103.
- [HOC 2007] Hochreiter R., Pflug G. Financial scenario generation for stochastic multi-stage decision processes as facility location problems // Annals of Operations Research. - 2007. - Vol. 152. - Nr. 1. - pp. 257-272.
- [KAU 2007] Kaut M., Wallace S. Evaluation of scenario – generation methods for stochastic programming // Pacific Journal of Optimization. - 2007. - Vol. 3. - No. 2, pp. 257-271.
- [KLE 2003] Kleijnen, J. P. C., Smits, M. T. Performance metrics in supply chain management // Journal of the Operational Research Society. - 2003. - Vol. 54. - No. 3. - pp. 507-514.
- [KLY 2002] Kleywegt J. A., Shapiro A., Homem-de-mello T. The sample average approximation method for stochastic discrete optimization // SIAM Journal on Optimization. - 2002. - Issue 2. - Vol. 12. - pp. 479-502.
- [KRU 2006] Krūmiņš N. Rokasgrāmata: Loģistikas sistēmu vadīšanai. – Rīga: Petrovskis & Ko, 2004. - 153 lpp.
- [LAM 2000] Lambert, D. M., Cooper M. C. Issues in Supply Chain Management. // Industrial Marketing Management. - 2000. - Vol. 29. - No. 1. - pp. 65-83.
- [LAS 2003] Laster T., Oliver K. When will supply chain management grow up? // Strategy + Business. -2003. - No. 32. , - pp. 20-5.
- [LEE 2003] Lee Calvin B., 2003. Multi-Echelon Inventory Optimization // Evant White Paper Series - 2003. No. 15.
- [MOH 2012] Mohammadi M, Mukhtar M. Bt. Business Process Modelling Languages in Designing Integrated Information System for Supply Chain Management // International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology. - 2012. Vol. 2. No. 6 pp. 54-57.
- [PRA 2006] Pranevicius H., Sutiene K. Copula Effect on Scenario Tree // AENG International Journal of Applied Mathematics. 2006, p. 15.
- [REN 2010] Ren C, He M, Wang Q, Shao B, Dong J. Driving Supply Chain Transformation through a Business Process Oriented Approach // Service Science. - 2010. - Vol. 2. - No. 4. - pp. 298-314.
- [RUS 2009] Russel R. S., Taylor B. W. Operations Management: Along the Supply Chain. – John Wiley & Sons, 2009. – 776 p.
- [SAN 2005] Santaso, Tjendera., Ahmed, Shabbir., Shapiro, Alexander., Goetschalckx, Marc., A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty // European Journal of Operational Research. – 2005. Vol. 167. pp. 96-115.

- [SCOR] Supply Chain SCOR reference model / [Online], Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://supply-chain.org/scor#.UUoEITeC1BI> [Resurss apraksts: 2013]
- [SHA 1999] Shapiro, J. F. Bottom-up vs. Top-down approaches to Supply Chain Modeling, *Quantitative Models for Supply Chain Management*, [Online], Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/7210/SWP-4017-40963281.pdf> [Resurss apraksts: 2013].
- [SHA 2009] Shapiro J. F., *Modeling the Supply Chain*. DAS: 2009. – 608 p
- [SHB 2002] Shabbir A., Shapiro A. The sample average approximation method for stochastic programs with integer recourse. - *School of industrial & systems engineering Georgia Institute of Technology*, 2002. – 24 p.
- [SHM 2006] Shmoys D., Swamy C., An approximation scheme for stochastic linear programming and its application to stochastic integer programs: The Sample Average Approximation Method for 2-stage Stochastic Optimization // *Journal of the ACM (JACM)*. - 2006. - Vol. 53. - Iss. 6. - pp. 978-1012.
- [SIL 2012] Sillanpää I. Kess P. The literature review of supply chain performance measurement in the manufacturing industry // *Management and Production Engineering Review*. - 2012. - Vol. 3. - pp. 79-88.
- [SLA 2007] Slavinska I. Loģistikas loma pašvaldību darba uzlabošanā // *Proceedings of the Latvia University of Agriculture*. - 2007. - No. 19 (314). - pp. 54-61.
- [SMO 2004] Smotrovs, J. *Varbūtību teorija un matemātiskā statistika*. - Rīga: Apgāds Zvaigzne ABC, 2004. - 264 lpp.
- [SOS 2006] Soshko O., Goetgeluk J., Van Landeghem H., Merkuryev Y. Optimisation of Beer Game inventory model under uncertain demand // *Scientific Proceedings of Riga Technical University, 5 series, Computer Science. Information Technology and Management Science*. - 2006. - Vol. 28. - pp. 57-66.
- [SOS 2007a] Soshko O., Merkuryev Y., Van Landeghem H. Application of stochastic programming for supply chain inventory optimization under uncertain demand and lead time // *Proceedings of the 6th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation, Ljubljana, Slovenia*. - 2007. - Vol. 1. - pp. 305-305.
- [SOS 2007b] Soshko O., Merkuryev Y., Chakste M. Application in Retail: Locating a Distribution Center // *Supply Chain Configuration: Concepts, Solutions, and Applications*. Ed. Charu Chandra, Jānis Grabis. Springer. - 2007. pp. 303-333.
- [SOS 2009] Soshko O., Pluksne N. Inventory Management in Multi Echelon Supply Chain Using Sample Average Approximation // *Scientific Journal of RTU. 5. series., Computer Science. Information Technology and Management Science*. 2009. Vol. 40. pp. 45-52.
- [SOS 2010] Soshko O., Vjaks V., Merkuryev Y. Modelling Inventory Management System at Distribution Company: Case Study // *Scientific Journal of RTU. 5. series., Computer Science. Information Technology and Management Science*. - 2010. - Vol. 44. – pp. 87-93.

- [STE 2006] Stefanovic N, Majstorovic V, Supply Chain Business Intelligence Model // Proceedings of 13th Cirp International Conference on Life Cycle Engineering. - 2006, pp. 613-618.
- [STO 2009] Stock J. R., A research view of supply chain management: Developments and topics for exploration // ORiON. - 2009. - Vol. 25. No. 2, pp. 147-160.
- [TOL] Толуев Ю. И. Моделирование логистических процессов, [Online], Pieejas veids: tīmeklis WWW. URL: http://www.tsi.lv/Toluev/TSI_lekcija1.pdf. [Resurss apraksts: 2013].
- [TOM 2007] Tomasgard A., Rømo F., Fodstad M., Midthun K., Optimization models for liberalized natural gas markets // in Geometric Modelling, Numerical Simulation, and Optimization: Applied Mathematics at SINTEF, Springer, 2007. - pp. 253-313.
- [VER 2004] Verweij B., Shabbir A., Kleywegt J. A. The Sample Average Approximation Method Applied to Stochastic Routing Problems: A Computational Study // Computational Optimization and Applications. - 2004. - Vol. 24 - pp. 200-235.
- [VER 2010] Verdouw C. N, Beulens A. J. M, Trienekens J. H, Wolfert S. Business Process Modelling in Demand Driven Agri Food Supply Chains, System Dynamics and Innovation in Food Networks // Proceedings of the 4th International European Forum on System Dynamics and Innovation in Food Networks, University of Bonn, Germany. - 2010. - pp. 307-322.
- [WEI 2004] Wei J., Matthew J. Realff - Sample average approximation methods for stochastic MINLPs. Computers & Chemical Engineering. - 2004. - Vol. 28. - Iss. 3. - pp. 333-346.
- [YIL 2006] Yilmaz Y, Bititci U. Performance measurement in the value chain: manufacturing v. tourism// International Journal of Productivity and Performance Management. - 2006. - Vol. 55. - No. 5. pp. 371-389.