

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Transporta un mašīnzinības fakultātes

Aeronautikas institūts

Olga GIRVICA

Doktora studiju programmas “Transports” doktorante

**OPTIMIZĀCIJAS MODEĻU UN METOŽU IZSTRĀDĀŠANA
LOĢISTIKAS KOMPĀNIJAS VEIKSMĪGAI DARBĪBAI**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs

Dr. habil. sc. ing., profesors

A. ANDRONOVŠ

Rīga 2013

Girvica O. Optimizācijas modeļu un metožu
izstrādāšana loģistikas kompānijas veiksmīgai
darbībai. Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU
Izdevniecība, 2013.-43 lpp.

Iespiests saskaņā ar „RTU P-22” promocijas padomes
2013.gada 21.marta lēmumu, protokols Nr.03/2013

PROMOCIJAS DARBS

IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2013.g. 3.jūlijā Rīgas Tehniskās universitātes Transporta un mašīnzinības fakultātē, Lomonosova ielā 1, korpusā 1, 218.auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Jurijs Merkurjevs
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Aleksejs Latkovs
Transporta un sakaru institūts, Latvija

Profesors, Dr.habil.sc.oec. Arnolds Hižņaks
Maskavas Apgabala Valsts Sociāli Humanitārais institūts, Krievija

APSTIPRINĀJUMS

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

Olga Girvica(Paraksts)

Datums: 06.06.2013.

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, satur ievadu, 6 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 4 pielikumus, 9 zīmējumus un 19 tabulas, kopā 137 lappuses. Literatūras sarakstā ir 87 nosaukumi.

ANOTĀCIJA

Promocijas darbu "Optimizācijas modeļu un metožu izstrādāšana loģistikas kompānijas veiksmīgai darbībai" izstrādāja Olga Girvica inženierzinātņu doktora zinātniskā grāda iegūšanai. Darba zinātniskais vadītājs ir Dr.habil.sc.ing., profesors Aleksandrs Andronovs.

Latvijas ģeogrāfiskās atrašanās vietas dēļ transporta nozarei ir viena no galvenajām lomām valsts ekonomikā, kā arī tai ir svarīga nozīme visas Eiropas Savienības ekonomiskajā attīstībā. Valdība pievērš lielu uzmanību loģistikas attīstībai Baltijas jūras reģionā.

Mana pētījuma priekšmets ir praktisko metožu trūkums Loģistikas centra izmaksu un darbību optimizēšanai Latvijas tirgū pasaules ekonomikas lejupslīdes apstākļos.

Pastāv vairāki specifiski uzdevumi Loģistikas centra veiksmīgai attīstībai un darbības plānošanai vienlaicīgi ar aprīkojuma un piegādes procesa attīstību labākai klientu vajadzību atklāšanai un atbalstīšanai. Viens no galvenajiem uzdevumiem jebkuram loģistikas uzņēmumam ir vienkāršot piegādes ķēdes, samazināt uzglabāšanas izmaksas un palielināt preču piegādes ātrumu un efektivitāti. Uzglabāšana un izdalīšana ir nozīmīga piegādes ķēdes sastāvdaļa. Būtiska sastāvdaļa ir informācijas tehnoloģijas un efektīva informācijas plūsma starp ķēdes locekļiem, kā arī izpratne par uzņēmējdarbību un klientu vajadzībām.

Pētījums ir paredzēts jaunu optimizācijas modeļu un metožu izveidošanai loģistikas uzņēmumu darba tirgū pasaules ekonomikas lejupslīdes apstākļos. Jaunu loģistikas modeļu izveidošana ļauj plānot jebkādu uzņēmējdarbības resursu (transportlīdzekļu, finanšu un citu resursu) optimālu izmantošanu, kā arī ļauj samazināt uzņēmējdarbības izmaksas un palielināt saņemto peļņu. Tas palīdz modelēt pilnīgu loģistikas sistēmu (ķēdi) no izejmateriālu ražotāja līdz gala produkta saņēmējam. Šis modelis var tikt izmantots gan kopējās transporta sistēmas attīstības stratēģijas izveidei, gan noteiktu saistīto uzdevumu risināšanai.

Izmantojot matemātiskās programmēšanas metodes, tika iesniegti trīs jauni modeļi darba optimizēšanai loģistikas uzņēmumos.

1. Optimālu apļveida maršrutu plānošana preču piegādei. Izmantojot stohastisko optimizācijas metodi, tika ierosināts jauns matemātiskais modelis optimālai apļveida piegādes maršrutu plānošanai. Izmantojot šo modeli, tika izveidots optimāls maršruts, kas nodrošina minimālas piegādes galamērķī katrā piegādes vietā. Atšķirībā no labi zināmā „komerciālo ceļotāju uzdevuma”, mūsu problēma ir daudz sarežģītāka, jo tajā papildus tiek ņemti vērā daudzi cikli, preču svars, svara ierobežojumi katrā ciklā un vērtīgums atkarībā no to vienreizīguma (oriģinalitātes). Aplūkotie lēmumi un pareizā stratēģija apļveida piegādes maršruta izveidošanai preču izdalīšanai no Loģistikas centra līdz galīgajam klientam ļauj samazināt izmaksas un optimizēt Loģistikas centra darbu, daudz efektīvāk izmantojot transportu un samazinot preču dīkstāves laiku.
2. Hierarhiskās optimizēšanas modelis resursu sadalei Loģistikas centra struktūrvienību starpā. Ar šā modeļa palīdzību optimālā veidā tika atrisināta resursu sadales problēma Loģistikas centra struktūrvienību starpā, kurām ir kokveida struktūra. Pastāv vairāki veidi katras Loģistikas centra struktūrvienības attīstībai. Šie veidi atšķiras cits no cita ar nepieciešamo resursu daudzumu un saņemtās peļņas lielumu.

3. Loģistikas centra piegādes ķēdes optimizācijas modelis. Modelis ļauj atrisināt lēmumu pieņemšanas procesa uzdevumu Loģistikas centra piegādes ķēdes optimizācijai, optimālā veidā izveidojot jaunus piegādes un pārdošanas kanālus. Katrā procesa attīstības stadijā var tikt pieņemti vairāki lēmumi. Par pieņemto lēmumu efektivitātes kritērijiem tiek pieņemti divi aspekti – maksimālā iespējamība sasniegt vislabāko efektu un vidējās peļņas palielināšana.

Optimizācijas modeļu, transportlīdzekļu izmantošanas metožu un loģistikas centru darbības pārņemšana un izveidošana ir nozīmīgs solis Latvijas un ES transporta sistēmas optimālas plānošanas un turpmākas veiksmīgas attīstības nodrošināšanai.

SATURS

1. VISPĀRĪGS DARBA RAKSTUROJUMS.....	7
1.1. PROBLĒMAS AKTUALITĀTE	7
1.2. PĒTĪJUMA MĒRĶI UN UZDEVUMI.....	7
1.3. PĒTĪJUMA METODES UN METODOLOĢIJA.....	8
1.4. ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE	8
1.5. TĒMAS PAŠREIZĒJĀS IZPĒTES LĪMENIS.....	9
1.6. PROMOCIJAS DARBA UZBŪVE	9
1.7. AIZSTĀVAMĀS TĒZES.....	10
1.8. PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA	11
2. PĒTĪJUMA GALVENO REZULTĀTU APRAKSTS.....	12
2.1. LOĢISTIKA UN TĀS SVARĪGUMS LATVIJAS EKONOMIKAI.....	12
2.2. MATEMĀTISKĀ METODE APĻVEIDA PIEGĀDES MARŠRUTU OPTIMĀLAI PLĀNOŠANAI.....	13
2.3. HIERARHISKĀ OPTIMIZĀCIJA RESURSU SADALĒ START LOĢISTIKAS CENTRA VIENĪBĀM	21
2.4. LOĢISTIKAS CENTRA PIEGĀDES ĶĒDES OPTIMIZĀCIJA.....	28
3. SECINĀJUMI	38
LITERATŪRAS SARAKSTS	39

1. VISPĀRĪGS DARBA RAKSTUROJUMS

1.1. PROBLĒMAS AKTUALITĀTE

Eiropas transporta sistēmas ilgtermiņa un īstermiņa attīstībā galvenais uzsvars tiek likts uz transporta infrastruktūras modernizāciju un pārveidi tā, lai nodrošinātu pēc iespējas labāku kvalitāti un lielāku kravas plūsmas apjomu.

Latvijas Satiksmes ministrija ir pasludinājusi, ka transporta nozarē prioritāte ir industriālo parku un loģistikas parku būvniecība, un ir izvirzījusi Latviju kā reģiona loģistikas centru, kurš var piegādāt preces no savām loģistikas noliktavām un izplatīšanas centriem uz tādām pilsētām, ka Helsinkiem, Stokholmu, Minsku, Varšavu un Maskavu [4].

Plašu lauku pētījumam paver tas fakts, ka trūkst praktiskas metodes, ar kuru palīdzību pašreizējos Latvijas tirgus un pasaules ekonomiskās lejupslīdes apstākļos optimizēt loģistikas centru izmaksas un darbību.

Tāpēc ir svarīgi izveidot jaunas loģistikas sistēmas optimizācijas metodes un modeļus, kuri ietvertu strauji mainīgo situāciju pasaulē un jaunus ietekmes faktoros.

1.2. PĒTĪJUMA MĒRĶI UN UZDEVUMI

Pētījuma galvenais mērķis ir matemātiskās metožu un modeļu izstrādāšana loģistikas kompānijas veiksmīgai darbībai. Tas ietver šādus aspektus:

1. Optimālu preču piegādes apļveida maršrutus izveidošana.
2. Ierarhiskas optimizācijas modeļi, kurš ietver resursu sadali starp vienībām un loģistikas centru izstrādāšana.
3. Loģistikas centra piegādes ķēdes optimizācijas modeļi izveidošana. Lai novērtētu, cik veiksmīgi ir pieņemti lēmumu, darbā izvirzīti divi kritēriji — maksimālā varbūtība, ka tiks sasniegts labākais rezultāts un vidējais ienākumu pieaugums.

Lai sasniegtu šos mērķus ir izvirzīti šādi uzdevumi:

1. Loģistikas sistēmas veiksmīgas optimizācijas procesā radušos problēmu izskatīšana.
2. Izveidot pētījuma materiālu kopumu, apkopojot un analizējot Latvijas transporta sistēmas statistikas datus.
3. Izpētīt informācijas tehnoloģijas un veiksmīgu informācijas apmaiņu starp piegādes ķēdes dalībniekiem gan no uzņēmēju, gan no patērētāju skatpunkta.
4. Izpētīt mūsdienu modeļus un metodes, kuras tiek lietotas loģistikas optimizācijā.
5. Apskatīt loģistikas centra galvenos uzdevumus un analizēt faktoros, kuri nosaka, cik veiksmīga būs loģistikas centra darbība.
6. Pētniecības problēmas risināšanas datora programmu izveide
7. Balstoties uz izveidotajiem modeļiem, apskatīt un risināt aktuālas problēmas, ar kurām nākas saskarties Latvijas uzņēmumiem.

1.3. PĒTĪJUMA METODES UN METODOLOĢIJA

1. Pētījuma metodoloģijas pamatā ir reāli paņēmieni, kuri ir pielietoti loģistikas aktivitātes praksē, un reālie statistiskie dati. Pirmie ir dabūti pētnieka darba pieredzē, viņš ieguvis tos, 17 gadus strādājot dažādās loģistikas un transporta nozares jomās. Otrie (statistikas dati) ir iegūti no vairākiem loģistikas uzņēmumiem. Statistikas dati, kas nepieciešami pētījumā makrolīmenī, iegūti no Latvijas un ES Centrālām statistikas pārvaldēm.
2. Pieņemtās pieejas pamatā tika noskaidroti svarīgākie uzdevumi un faktori, kuri ietekmē apskatāmās problēmas.
3. Kā pētniecības metodes, promocijas darbā ir izmantots mūsdienīgais matemātiskais aparāts: grafu teorija (orientēti grafi, ceļi un īsākie ceļi, koki), varbūtību teorija (diskrētie gadījuma lielumi, to varbūtību sadalījuma funkcijas), gadījuma meklēšanas metode (Monte Karlo metode), dinamiskā programmēšana (viendimensijas resursa sadalīšana), vadāmas Markova ķēdes (diskrēta laika Markova ķēde, daudz soļu lēmumu pieņemšanas metodes).
4. Visas izstrādātās metodes un algoritmi ir realizēti datoru pakotnē MathCad 14, tas dod iespēju viegli pielietot nepieciešamos rezultātus praksē.

1.4. ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE

Ņemot vērā Latvijas ģeogrāfisko izvietojumu, transporta nozare ir viena no svarīgākajām nozarēm gan Latvijas, gan visas Eiropas Savienības ekonomiskajai izaugsmei un attīstībai. Valdība pievērš lielu uzmanību loģistikas attīstībai Baltijas jūras reģionā.

Plašu lauku pētījumam paver tas fakts, ka trūkst praktiskas metodes, ar kuru palīdzību pašreizējos Latvijas tirgus un pasaules ekonomiskās lejupslīdes apstākļos optimizēt loģistikas centru izmaksas un darbību.

Pētījuma galvenais jautājums ir: „Vai pašreizējos Latvijas tirgus un pasaules ekonomiskās lejupslīdes apstākļos ir iespējams izveidot efektīvus stratēģisko modeļus loģistikas centra izmaksu un darbības optimizācijai?”

Katram uzņēmējdarbības veidam ir stratēģija, kas nodrošina tā konkurētspēju. Taču daudzas no šīm stratēģijām ir virspusējas, neprecīzas un grūti definējamas, jo tās ir radušās un attīstījušās dabiski, nevis izveidotas rūpīgā plānošanas un analizēšanas procesā. Šīm stratēģijām bieži vien nav nekāda noteikti objekta vai mērķa, uz kuru koncentrēties, stratēģiju ietvaros tiek pieņemti nepilnīgi un virspusēji lēmumi, un tās nemanāmi noveco. Pētījumā aprakstīts loģistikas stratēģijas izveides process. Šajā procesā izveidotās stratēģijas ir izvērstas un precīzi definētas, lai vienmēr būtu iespējams pārbaudīt to pastāvīgumu, pilnīgumu, atbilstību laikam un faktiskajiem apstākļiem un noskaidrot, vai tām ir konkrēts mērķis vai objekts, uz kuru koncentrēties.

Dažreiz loģistikas stratēģiju uzlūko kā sava veida melno maģiju — uzņēmēji meklē šīs nozares dinamiskās puses, cenšas noskaidrot, kas paaugstinās konkurētspēju, cenšas pēc iespējas labāk un laicīgāk veikt savus gājienus, prognozējot pretinieku gājienus, pasniedz savas preces un pakalpojumus vispareizākajos veidos un pēc iespējas efektīvāk sadala ierobežotos resursus [33].

Savukārt pētnieks nedrīkst pieiet šīm lietām tik mistiski un balstīties tikai uz intuīciju. Pētniekam jāizvēlas labākais loģistikas simulācijas rīks, ar kura palīdzību var pārbaudīt un izvērtēt dažādas stratēģijas gan bezriskā apstākļos, gan ekonomiskās lejupslīdes apstākļos. „Stratēģija nav vienas reizes meklējums, kurā mēs cenšamies atrast stabilu un noturīgu risinājumu mūsu konkurētspējas paaugstināšanai. Stratēģija ir nepārtraukta vides, patērētāju un savu konkurentu vērošana un pētīšana, kurā uzsvars tiek likts uz pareizu lēmumu pieņemšanu, par pamatu ņemot konkurences apstākļus, kas mainās dinamiski un nepārtraukti,” Philip Kotler.[38]

Šis darbs paredzēts, lai izstrādātu jaunus optimizācijas stratēģisko modeļus, kuri ļaus loģistikas uzņēmumiem strādāt pašreizējā, pasaules ekonomiskās krīzes skartajā, tirgū. Jaunu loģistikas modeļu izstrāde palīdz optimāli plānot jebkāda veida resursu izmantošanu (transportlīdzekļi, nauda un citi resursi), līdz minimumam samazināt uzņēmumu izmaksas un paaugstināt peļņu. Šādi iespējams modelēt pabeigtas loģistikas sistēmas (ķēdes), kuras sākas ar izejvielu ražotājiem un noslēdzas ar gatavās preces saņēmējiem. Modeļus var izmantot gan transporta sistēmas vispārīgas attīstības stratēģijas izveidei, gan meklējot risinājumus kādiem noteiktiem mērķiem un uzdevumiem.

1.5. TĒMAS PAŠREIZĒJĀS IZPĒTES LĪMENIS

Literatūras pārskats tika sastādīts un izmantots kā teorētiskās struktūras pamats. Pētījuma laikā tika izpētītas šādas metodes: masu apkalpošanas sistēmas modeļi (pētījuši vairāki autori, piemēram, G.L.Brodeckij [69], G.G.Levkin [75], U.M.Nerush [78]), jauktā veselo skaitļu programmēšana (pētījuši D.Bienstock[10], G.Neinhauser, R.Fukasawa [23], J.Lysgaard[23], M.Poggi de Aragao[23], M.Reis[23], R.F.Werneck[23]), heuristiskie algoritmi (atspoguļoti J.L. Bentley[7], R. Battiti[10] darbos), dažādi algoritmi rīcībispējīgu transportlīdzekļu maršrutēšanas problēmām (pētījuši G.Dantzig[17], R.Ramser[17], N.Christofides[13],[14], A.Mingozzi [14], P.Toth[56],[57], D.Vigo[56],[57], M. Fisher[20], C.Martinhon[42], A.Lucena[42], N.Maculan[42]). Vairums no pastāvošajiem modeļiem piedāvā optimizēt procesu, izmantojot optimizācijas soļus atsevišķām vienībām, sniedzot risinājumus dažādiem atsevišķiem uzdevumiem, bet ne sistēmai kopumā. Tomēr praksē noderīga ir tikai visas sistēmas uzlabošana. Kā arī daudzi modeļi neņem vērā visus nepieciešamos ierobežojumus un ārējos faktorus vislabāko rezultātu sasniegšanai. Šajā pētījumā tiek piedāvāti modeļi, kas bez lokālās optimizācijas sniedz arī iespēju izveidot optimizācijas stratēģiju loģistikas uzņēmumam.

1.6. PROMOCIJAS DARBA UZBŪVE

1. Nodaļa. Latvijas transporta sistēmas izvērtējums un tās attīstības perspektīvas Eiropas globālajā loģistikas ķēdē. Šajā nodaļā autors apskata transporta nozari Latvijā. Transports un loģistika ir vienas no svarīgākajām Latvijas nozarēm. Šajā nodaļā aprakstītas nozaru perspektīvas, kā arī Latvijas transporta sistēmas attīstības mērķi, kurus izvirzījusi Latvijas Satiksmes ministrija.

2. Nodaļa. Spriedums par loģistikas nozari un tās problēmas. Šajā nodaļā apskatīti galvenie jautājumi, kas saistīti ar loģistikas nozari. Pirmkārt tiek aprakstīta loģistikas nozares darbība un

funkcijas. Tiek izmantota sistemātiska pieeja, lai izpētītu loģistikas nozares iepirktās, saražotās un pārdotās preces, kā arī peļņu. Nodaļā apskatīti arī iespējamie finansiālie riski un loģistikas nozarei svarīgās atbalsta informācijas tehnoloģijas.

3. *Nodaļa. Uzdevumi veiksmīgais loģistikas centra attīstībai.* Šajā nodaļā apskatīti ierastie stratēģiskie uzdevumi, ar kuriem saskaras loģistikas uzņēmumi. Labi apdomāta lēmumu pieņemšana un veiksmīga stratēģija ļauj loģistikas centram samazināt savas izmaksas, kā arī mazināt piegādes laiku, kas nepieciešams, lai prece nokļūtu no loģistikas centra līdz galalietotājam Latvijā. Literatūras pārskats tika sastādīts un izmantots kā teorētiskās struktūras pamats. Vairums no pastāvošajiem modeļiem piedāvā optimizēt procesu, izmantojot optimizācijas soļus atsevišķām vienībām, sniedzot risinājumus dažādiem atsevišķiem uzdevumiem, bet ne sistēmai kopumā. Tomēr praksē noderīga ir tikai visas sistēmas uzlabošana.

4. *Nodaļa. Matemātiskā metode apļveida piegādes maršrutu optimālai plānošanai.* Šajā nodaļā tiek risinātas problēmas, kas saistītas ar maršrutiem. Tiek apskatīta metode apļveida piegādes maršrutu organizēšanas optimizācijai. Apskatītā problēma ir klasiskās Hamiltona cikla problēmas vispārinājums. Ir labi zināms, ka nav efektīva algoritma, lai atrisinātu šo problēmu. Turklāt mūsu problēma ir vēl sarežģītāka, jo tā ietver daudzus ciklus, preču svaru un svara ierobežojumus katram ciklam. Darbā izmantota stohastiska optimizācijas metode.

5. *Nodaļa. Hierarhiskā optimizācija resursu sadale starp loģistikas centra vienībām.* Šajā nodaļā parādīts, kā, izmantojot dinamiskās programmēšanas metodi, iespējams risināt praktiskus un reālus uzdevumus, kuri ietver resursu sadali starp dažādām Latvijas loģistikas centra vienībām. Noskaidrota arī optimālā peļņa katrai vienībai.

6. *Nodaļa. Loģistikas centra piegādes ķēdes optimizācija.* Šajā nodaļā pierādīts, ka ir iespējams izmantot dinamiskās programmēšanas metodi, lai risinātu lēmumu pieņemšanas uzdevumus, kuri saistīti ar jaunu piegādes un pārdošanas kanālu attīstību, gūstot optimālu peļņu. Pierādījumi iegūti, pētot reālus piemērus no Latvijas loģistikas centra darbības.

1.7. AIZSTĀVAMĀS TĒZES

1. Matemātisko modeļu un metožu virkne, kuras ļauj efektīvi atrisināt svarīgākus loģistikas uzdevumus.
2. Transporta maršrutu optimizācijas metode loģistikas kompānijai. Mūsu modelis vispārina klasisko komivojažiera uzdevumu: daudz komivojažieru (mašīnu), dažādas celtspejas, dažādas preču prasības apkalpotos punktos.
3. Hierarhiskais modelis loģistikas kompānijas optimālai attīstībai. Modelis ļauj optimāli sadalīt esošos finanšu resursus starp savām struktūrvienībām.
4. Optimizācijas metode piegādes ķēžu (Supply Chain) plānošanai. Šeit ir izmantoti divi lēmumu pieņemšanas efektivitātes kritēriji: vidējās peļņas maksimizācija vai maksimālā varbūtība, ka tiks sasniegts vislabākais rezultāts. Pēdējā gadījumā var runāt par risku vadīšanu.

1.8.PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA

Doktora darba tēzes galvenie rezultāti ir tikuši prezentēti 11 starptautiskās zinātniskās konferencēs, kopā aizstāvot 6 referātus:

1. International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat`08) Rīga, Latvia, October 21 – 24, 2008. Piedalīšanās ar referātu: Main Tasks for the Logistic Center Successful Development, author: Girvica O.
2. International Conference “Breaking Bureaucracy Barriers in Latvia” 2008, Rīga, Latvija
3. International Conference “Russian Market. Practice. Perspectives.” 2008, Rīga, Latvija
4. RTU 50.starptautiskā zinātniskā konference 2009. Rīga, Latvija, 2009.g. oktobris 12. – 16. Piedalīšanās ar referātu: „Resursu sadalījuma starp loģistikas centra vienībām hierarhiska optimizācija”, author: Girvica O.
5. International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RealStat`09). Rīga, Latvia, October 21 – 24, 2009.
6. International Science Conference on Business Competitiveness in Local and Foreign Markets: Challenges, Rīga, Latvia, April 29 – 30, 2010.
7. RTU 51.starptautiskā zinātniskā konference 2010. Rīga, Latvija, 2010.g. oktobris 11. – 15. Piedalīšanās ar referātu: „Lēmumu pieņemšanas process loģistikas centra piegādes ķēžu optimizācijai”, author: Girvica O.
8. International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat`10) Rīga, Latvia October 21 – 24, 2010. Piedalīšanās ar referātu: „Optimization of the Supply Chain Process for the Logistic Centre”, author: Girvica O.
9. 9th International Science Conference on Information Technologies and Management`2011. Rīga, Latvia, April 14 – 15, 2011. Piedalīšanās ar referātu: “Financial Risks in Logistics”, author: Girvica O.
10. International Science Conference on Changes in Global Economic Landscape – in Search for New Business Philosophy. Rīga, Latvia, April 28 – 29, 2011 Piedalīšanās ar referātu: “New Supply Chain Creation for Logistics Centre Work Optimization”,author:Girvica O.
11. Stakeholders debate ”The Integrated Transport System in the Baltic Sea Region – the Transit Role of Latvia”, Rīga, Latvia, September 14, 2011.

Doktora darba tēzes autors ir uzrakstījis 5 zinātniskas publikācijas:

1. Girvica O. MAIN TASKS FOR THE LOGISTIC CENTRE SUCESSFUL DEVELOPMENT (GALVENIE UZDEVUMI LOĢISTIKAS CENTRA SEKMĪGAI DARBĪBAI). Proceedings of the 8th International Conference „Reliability and Statistics in Transportation and Communication. RelStat`2008”.October 15-18, 2008, Rīga, Latvija, 60-63 lpp. SCOPUS.
2. Girvica O. MODERN STRATEGIES FOR THE COSTS OPTIMIZATION OF THE LOGISTIC CENTRE (MŪSDIENĪGAS STRATĒĢIJAS LOĢISTIKAS CENTRA IZDEVUMU OPTIMIZĀCIJAI). “Mašīnzinātne un transports” RTU Zinātniskie raksti.

2010 ISSN 1407-8015, Rīga, 123.-128. lpp. EBSCO.

3. Girvica O. HIERARCHIC OPTIMIZATION OF THE RESOURCES ALLOCATION AMONG THE UNITS OF THE LOGISTIC CENTRE (RESURSU SADALĪJUMA STARP LOĢISTIKAS CENTRA STRUKTŪRVIENĪBĀM HIERARHISKĀ OPTIMIZĀCIJA). "Mašīnzinātne un transports" RTU Zinātniskie raksti. 2010 ISSN 1407-8015, Rīga, 106.-110. lpp. EBSCO.
4. Girvica O. OPTIMIZATION OF THE SUPPLY CHAIN PROCESS FOR THE LOGISTIC CENTRE. "Transport and Telecommunication" TSI journal, 2010, Vol.11, N2 ISSN 1407-6160 Riga pp.12-17. SCOPUS.
5. Girvica O. NEW SUPPLY CHAIN CREATION FOR LOGISTICS CENTRE WORK OPTIMIZATION "Journal of Business Management" 2011, Nr 4, ISSN 1691-5348, Riga. pp.170 – 177. EBSCO.

2. PĒTĪJUMA GALVENO REZULTĀTU APRAKSTS

2.1. LOĢISTIKA UN TĀS SVARĪGUMS LATVIJAS EKONOMIKAI

Jau kopš seniem laikiem transporta nozares attīstību Latvijā stipri veicinājusi valsts ģeogrāfiskais stāvoklis — atrašanās Eiropā un pie Baltijas jūras. Arī mūsdienās transporta nozare ir viena no svarīgākajām nozarēm Latvijas ekonomikā. Kopumā, skaitot no 1990. gada, transporta nozare veido vidēji 12% no valsts IKP. Attīstīta transporta ķēde ir lielisks pamats veiksmīgai valsts loģistikas nozares izveidei un attīstībai. Latvijas Satiksmes ministrija [4] ir pasludinājusi, ka transporta nozarē prioritāte ir industriālo parku un loģistikas parku būvniecība, un ir izvirzījusi Latviju kā reģiona loģistikas centru, kurš var piegādāt preces no savām loģistikas noliktavās un izplatīšanas centriem uz tādām pilsētām, ka Helsinkiem, Stokholmu, Minsku, Varšavu un Maskavu.

Tāpat kā citās uzņēmējdarbības jomās, arī loģistikas uzņēmumi savā ikdienas darbībā saskaras ar dažādiem finanšu riskiem. Šajā darbā tika apskatīti tikai daži visizplatītākie riski un sniegti risku pārvaldības ieteikumi uzņēmumiem, kas nodarbojas ar loģistiku starptautiskā līmenī. Finanšu riski atšķiras gan pēc savas būtības, gan pēc pārvaldības metodēm, ar kurām tos mazināt. Daudzi riski ir savstarpēji cieši saistīti, un visi no tiem galu galā atspoguļojas uzņēmuma likviditātē.

Automatizējot un integrējot sadales sistēmu kopējā uzņēmuma sistēmā, pastāv liela varbūtība, ka uzņēmums varēs gūt lielāku peļņu un samazināt izmaksas un piegādes laiku. Šie divi uzlabojumi tiešā veidā ietekmē apgrozījumu un attiecības ar klientiem.

Pirmkārt ir zināms, ka zemākas izmaksas novedīs arī pie zemākām cenām. Jau šis fakts pats par sevi spēj palielināt apgrozījumu un piesaistīt vairāk klientu. Otrkārt, nodrošinot saviem klientiem ātrāku piegādi, kā arī detalizētu informāciju par nopirktajām precēm un materiāliem, pēc pirkuma veikšanas, viņu apmierinātība un uzticība piegādātājam palielināsies vēl vairāk, un tas var būtiski palielināt arī peļņas iespējas. Katram loģistikas uzņēmumam ir jāizlemj, kurš IT risinājums visvairāk optimizēs tā darbību un uzlabos pakalpojumu kvalitāti.

Viena no modernajām stratēģijām loģistikā ir mainīt tradicionālo piegādes ķēdi uz jaunu. Galvenā atšķirība un galvenais punkts jaunajam piegādes ķēdes redzējumam ir sistēmas izveide ar vispārēju loģistikas pakalpojumu sniedzēju centru (Loģistikas centrs), kas nodrošina un pārvalda visus piegādes ķēdes procesus un nodrošina visas loģistikas funkcijas vispārējās stratēģijas ietvaros.

Mērķis ir vienkāršot piegādes ķēdi, minimizēt uzglabāšanas laiku un apjomu un maksimizēt piegāžu ātrumu un efektivitāti. Tas ļaus ražotājiem specializēties ražošanā. Būtiska daļa ir informācijas tehnoloģijas un efektīva informācijas plūsma starp ķēdes dalībniekiem, kā arī uzņēmējdarbības un klientu vajadzību izpratne. Galvenais šādas pieejas trūkums ir tās ilgtermiņa iedarbība. Tā ir paradigmas maiņa ne tikai uzņēmumam, bet arī visiem tā klientiem un piegādātājiem. Šī pieeja faktiski tiek balstīta uz uzticēšanos un kopīgām partneruzņēmumu vērtībām.

Pamatojoties uz savu praktisko pieredzi loģistikas jomā un teorētisko novērojumu rezultātiem, autors uzskata, ka darbības stratēģija Loģistikas centra veiksmīgai attīstībai tiek definēta ar sekojošo specifisko uzdevumu risināšanas procesu:

1. Sistēmas izveidošana preču saņemšanai noliktavā.
2. Sistēmas izstrāde preču uzglabāšanai noliktavā.
3. Preču ienākošās/izejošās kustības noliktavā kontrole un uzraudzība.
4. Preču sadales līdz gala klientam optimizācija.
5. Preču neproduktīvā laika samazināšana.

Lielāko daļu no iepriekš minētajiem loģistikas uzdevumiem varētu atrisināt, izmantojot dažādas ekonomiskās un matemātiskās metodes un modeļus, kaut arī tie neizmanto visus nepieciešamos ierobežojumus un faktorus vislabāko rezultātu iegūšanai. Kā arī, nav piemērota kopēja optimizācijas stratēģija visai loģistikas sistēmai, tāda kā Loģistikas centrs. Vairums no apskatītajām metodēm un modeļiem sniedz risinājumu atsevišķiem uzdevumiem, bet ne sistēmai kopumā. Šajā pētījumā autors piedāvā modeļus, kas bez lokālās optimizācijas sniedz arī iespēju izveidot optimizācijas stratēģiju loģistikas uzņēmumam (Loģistikas centrs).

2.2. MATEMĀTISKĀ METODE APLVEIDA PIEGĀDES MARŠRUTU OPTIMĀLAI PLĀNOŠANAI

Pirmkārt ir jātiek skaidrībā ar to, ko nozīmē vārds „optimizācija”. Saskaņā ar Merjama un Vebstera vārdnīcu: „Optimizācija ir metode, process vai darbība, kas tiek veikta, lai panāktu pēc iespējas pilnīgāku, iedarbīgāku un efektīvāku rezultātu (piemēram, izveidot plānu, sistēmu vai pieņemt lēmumu), īpaši tas attiecas uz matemātiskām darbībām (piemēram, atrast funkcijas maksimumu) [24].” Savukārt ir cita definīcija: „Matemātiskā, datorzinātnē vai vadībzinātnē matemātiskā optimizācija (dēvē arī par optimizāciju vai matemātisko programmēšanu) nozīmē labākā elementa izvēli no vairāku elementu kopas. Visvienkāršākajā gadījumā optimizācijas problēma ietver reālu funkciju maksimizāciju vai minimizāciju, sistemātiski izvēloties ievades vērtības no atļauto vērtību kopas un aprēķinot funkcijas vērtību. Lietišķajā matemātiskā ir ļoti daudz iespējamo aprēķinu veidu, izmantojot vispārīgākas un optimizācijas teorijas un metodes.

Runājot vispārīgi, „optimizācija” nozīmē „labāko pieejamo” vērtību meklēšanu, izvēloties no mērķfunkcijām, kurām ir definēts vērtību apgabals, ieskaitot dažāda veida mērķfunkcijas un dažāda veida vērtību apgabalus [39].”

Pētījuma laikā ir radīti jauni optimizācijas modeļi, kas paredzēti loģistikas uzņēmumu veiksmīgai attīstībai. Pirmais no šādiem modeļiem ir apļveida piegādes maršrutu optimālas plānošanas modelis.

Uzņēmums nodarbojas ar produktu un mājsaimniecības preču pārdošanu. Lielākā daļa preču (apmēram 60%) tiek importētas no Austrumeiropas, Krievijas un Ukrainas, taču 40% preču nāk no Latvijas. Preču tirdzniecība var nest augļus tikai tādā gadījumā, ja pareizi darbojas uzņēmuma loģistikas centrs. Loģistikas centram ir pieci kravas automobiļi un katram no tiem ir divdesmit divu tonnu liela kravietilpība. Trīs automobiļi tiek izmantoti preču importam no Eiropas, Krievijas un Ukrainas, savukārt atlikušie divi — preču piegādei Latvijas klientiem no noliktavām Rīgā. Analizējot loģistikas centra darbību un aprēķinot izmaksas, tika pierādīts, ka klienti bieži vien saņem preces ar nokavējumu un pēdējos mēnešos izmaksas aizvien turpina augt. Tirdzniecībai paplašinoties un palielinoties klientu skaitam, rodas nepieciešamība pēc papildu transporta. Bieži vien visus piecus automobiļus izmanto preču piegādei Latvijas robežās, un līdz ar to no ārvalstīm importētās preces ienāk Rīga noliktavās ar novēlojumu. Šāda situācija rada papildu izdevumus, kas rodas precēm novecojot, maksājot autovadītājiem par virsstundām un patērējot vairāk degvielas. Galvenais šādu problēmu cēlonis ir nepareizi plānoti maršruti, jo tie patērē vairāk laika un degvielas. Loģistikas centram tika izvirzīts reāls uzdevums.

Problēmas vide

Apskatīsim uzdevumu apļveida piegādes maršruta izveidei. Loģistikas centram ir kravas automašīnu skaits k un to kravietilpība ir C_i tonnas, kur i ir automašīnas numurs pēc kārtas, $i = 1, \dots, k$.

Uzņēmumam ir savu klientu tīkls (katrs no klientiem atrodas kādā pilsētā vai konkrētā punktā), n ir klientu skaits. Distance (km) tiek aprēķināta, balstoties uz *distances matricu* D (2.1.Tabula), kur matricas elements $D_{i,j}$ ir distance starp automašīnas kārtas numuru i un klienta kārtas numuru j (pilsētas, punkti). Ja punkti (i - j) nesavienojas, tad $D_{i,j} = \infty$. Turklāt ir zināms arī preču (kravas) daudzums kilogramos — Go_i , kur i ir klienta numurs pēc kārtas.

Ir nepieciešams izplānot tādus k preču piegādes apļveida maršrutus, kur katram maršruta sākumpunktam un galapunktam (pilsētai) ir skaitlis 0. Tiek pieņemts, ka maršrutu kārtas numurs r izpilda r -automobiļa kārtas numurus.

Apskatīsim problēmas matemātisko formulējumu. Sākumā mēs izvēlamies scenārija ierobežojumu $k = 2$. Mēs izmantojam šādus vektorus: $R^{(r)} = (i(0, r), i(1, r), \dots, i(r^* + 1, r))^T$ atspoguļo maršrutu r , kur r^* ir maršruta beznulles punktu (pilsētu) skaits, i ir pilsēta numurs visā tīklā r , $t_0 = t_{r^*+1} = 0$. Tagad varam noformulēt problēmu šādi:

Kopējo nobraukto kilometru daudzums

$$L(R) = \sum_{r=1}^2 \sum_{j=0}^{r^*} D_{i(j,r),i(j+1,r)} \quad (2.1)$$

pakļauts ierobežojumiem:

- abi maršruti tiek sasummēti, ietverot visus punktus (pilsētas)

$$R^{(1)} \vee R^{(2)} = \{0, 1, \dots, n\}, \quad (2.2)$$

- neviens maršruts nepārklājas ar citiem maršrutiem

$$R^{(1)} \wedge R^{(2)} = \{0\}, \quad (2.3)$$

- Kravas daudzums nedrīkst pārsniegt automašīnas kravnesību

$$\sum_{j=1}^{r^*} G_{o_{i(j,r)}} \leq C_r, \quad r = 1, 2 \quad (2.4)$$

Kur C_r ir automašīnas kravnesība, bet r ir maršruta numurs.

Apskatītā problēma ir klasiskās Hamiltona cikla problēmas vispārinājums [64], [66].

Ir labi zināms, ka nav efektīva algoritma, lai atrisinātu šo problēmu. Turklāt mūsu problēma ir vēl sarežģītāka, jo tā ietver daudzus ciklus, preču svaru un svara ierobežojumus katram ciklam. Darbā izmantota stohastiska optimizācijas metode.

Optimizācijas metode

Aprēķinos tiek izmantota grafu teorija [13], [16], [65], [74]. Mūsu neorientētais grafs ietver virsotnes (pilsētas) un šķautnes (ceļus starp pilsētām). Katrai šķautnei ir savs garums, kas atbilst ceļa garumam. Katrai pilsētai (punktam) ir noteikts svars C_i , kur i ir pilsētas kārtas numurs.

Sākumā mēs nospraužam pirmā maršruta beznulles punktu skaitu m . Tātad $(n - m)$ beznulles punktu skaits otrajā maršrutā. Vienas iterācijas galvenie soļi:

- 1) Nejauši radīt m elementus no kopas $\{1, 2, \dots, n\}$. $G^{(1)}$ ir atbilstošais modelis, bet $G^{(2)}$ — tā papildelements. Ir divi maršruti, kas veidoti no kopējā pilsētu skaita.
- 2) Jāpārbauda, vai katrs modelis sakrīt ar ierobežojumiem (2.4.). Ja nesakrīt, jāatgriežas pie pirmā soļa.

3) Jāpārlicinās, ka katrs modelis var sasniegt visus punktus no 0 sākumpunkta. Ja nevar, tad jāatgriežas pie pirmā soļa.

4) Jānumurē visas $G^{(1)}$ kopas permutācijas. Jāaprēķina katras permutācijas zaudējuma vērtība (2.1.) un jānosaka permutācija, kurai šī vērtība ir vismazākā. Ja vērtība ir vienāda ar bezgalību, tad jāatgriežas pie pirmā soļa.

5) Jāatkārto 4. solis otrajam modelim $G^{(2)}$.

6) Jāaprēķina kopējā zaudējuma vērtība, balstoties uz formulu (2.1.).

7) Ja jaunais rezultāts ir labāks par iepriekšējo, tas ir jāatzīmē.

Aprakstītā iterācijas jāveic nepieciešamo reižu skaitu RN . Par galējo tiek pieņemts labākais rezultāts.

Galvenie aprēķini un datorprogrammas

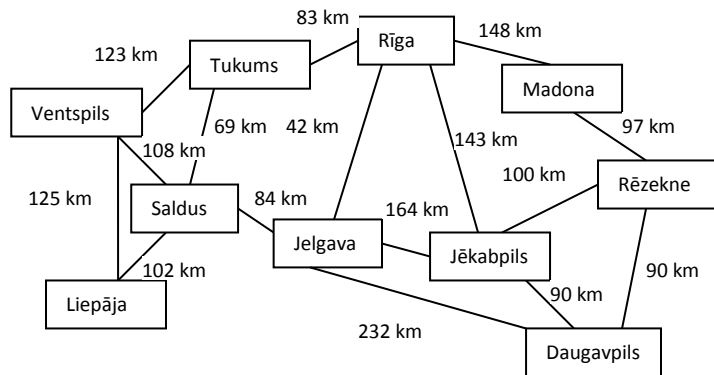
Zemāk sniegts īss apraksts, augstākminēto soļu saraksta izpildei.

1. Modeļa m $G^{(1)}$ radīšana no n elementu kopas $\{1, 2, \dots, n\}$ tiek veikta, izmantojot programmu *Sample*(n, m).
2. Lai veiktu pārbaudi, kas aprakstīti solī 3, vispirms jāizveido saistību matrica punktu kopai $G^{(1)}$ un $G^{(2)}$. To dara programma *MF(group)* kur grupas = $G^{(1)}$ vai $G^{(2)}$. Sasniedzamos parametrus punktam j un punktu kopai M pārbauda programmas *AccStep*(M, j) un *Acc*(M, j). Pilna pārbaude notiek, izmantojot programmas *Gr(fic)* un *TwoGr(fic)*, kur (*fic*) ir fiktīvs mainīgais.
3. Programma *PG(group)* izvada visas permutācijas kopas grupai (solis 4).
4. Solī 6 minētos, daļējos vai pilnīgos zaudējumu aprēķina šādas programmas: *LP(rout)* – vienam maršrutam un *LAll(ROUTS)* diviem maršrutiem $ROUTS = (ROUTS^{<1>}, ROUTS^{<2>})$. Optimizācija tiek veikta izmantojot programmas: *Sopt1(group)* – vienai grupu kopai un *Sopt(GROUPS)* – divām grupu kopām $GROUPS = (GROUPS^{<1>}, GROUPS^{<2>})$.
5. Programma *Opt(RN, GROUPS)* veic visas darbības RN reizes un atspoguļo labāko rezultātu. RN ir skaitlis, kas norāda, cik reizes ir izdevies veiksmīgi radīt (ģenerēt) grupas.

Pilns programmu saraksts un rezultāti ir aprakstīti 1. pielikumā.

Skaitlisks piemērs

Sākumā mēs aprakstām sākumdatumus. Kopējais kravas apjoms ir 41 tonna, un tā jāpiegādā šādās Latvijas vietās: 1. Daugavpils – 6100 kg, 2. Rēzekne – 4700 kg, 3. Jelgava – 3200 kg, 4. Saldus – 5000 kg, 5. Jēkabpils – 5700 kg, 6. Liepāja - 2400 kg, 7. Tukums – 5700 kg, 8. Madona – 5100 kg, 9. Ventspils – 4500 kg. Klientu ģeogrāfiskā atrašanās vieta attēlota attēlā 2.1.



Attēls 2.1. Pilsētu atrašanās vietas un distances starp tām.

Seko arī atbilstoša *distances matrica* D , saskaņā ar tabulu 2.1. (šeit ar 0 apzīmē Rīgu, savukārt ar q bezgalību):

Tabula 2.1.

Distances matrica D

$$D = \begin{pmatrix} 0 & q & q & 42 & q & 143 & q & 83 & 148 & q \\ q & 0 & 90 & 232 & q & 90 & q & q & q & q \\ q & 90 & 0 & q & q & 100 & q & q & 97 & q \\ 42 & 232 & q & 0 & 84 & 164 & q & q & q & q \\ q & q & q & 84 & 0 & q & 102 & 69 & q & 108 \\ 143 & 90 & 100 & 164 & q & 0 & q & q & q & q \\ q & q & q & q & 102 & q & 0 & q & q & 125 \\ 83 & q & q & q & 69 & q & q & 0 & q & 123 \\ 148 & q & 97 & q & q & q & q & q & 0 & q \\ q & q & q & q & 108 & q & 125 & 123 & q & 0 \end{pmatrix}$$

Loģistikas centram ir divas automašīnas ar 22 tonnu kravietilpību. Mūsu uzdevums ir izveidot divus apļveida maršrutus, pa kuriem iespējams piegādāt preces, nobraucot minimālu distanci. Turklāt katram maršrutam jābūt tādām, lai pārvadājamās kravas apjoms nepārsniegtu 22 tonnas. Tātad sastopamies ar maršrutu problēmu: kādā veidā organizēt apļveida piegādes maršrutus? Katrā maršrutā jāietver noteikta pilsēta (ar nulli apzīmēta Rīga), pārējās pilsētas ir apzīmētas ar skaitli n . Tālāk tiek izmantots algoritms, kas aprakstīts augstāk.

Pirmkārt punktu skaits m tiek izvēlēts no kopējā pilsētu skaita n . Tātad kopā ir 8 punkti, no kuriem tiek izvēlēti 4, neieskaitot punktu, kas apzīmēts ar 0 (Rīga), jo tas ietilpst katrā maršrutā. Otrā maršrutu grupa tiek veidota no punktiem, kas nav iekļauti pirmajā grupā. Respektīvi otro grupu aprēķina, atņemot no visu punktu kopsummas pirmās grupas punktus.

Visbeidzot iegūstam divas grupas, kuras ir pārbaudītas un atbilst abiem ierobežojumiem — kravietilpības ierobežojumam (2.4.) un nobraukto kilometru skaita ierobežojumam (2.1.).

Nākamais solis ir, izmantojot programmu $PG(group)$, iegūt no mūsu izveidotās grupas visas iespējamās permutācijas. Izmantojot programmu $LP(rout)$ vienam maršrutam un programmu $LAI(ROUTS)$ diviem maršrutiem, tiek aprēķināts kopējais kilometru zaudējums. Beigās katram maršrutam iegūstam šādu kilometru skaitu:

1. maršruts:

$$LP \begin{pmatrix} (0) \\ 8 \\ 2 \\ 1 \\ (5) \end{pmatrix} = 568$$

2. maršruts:

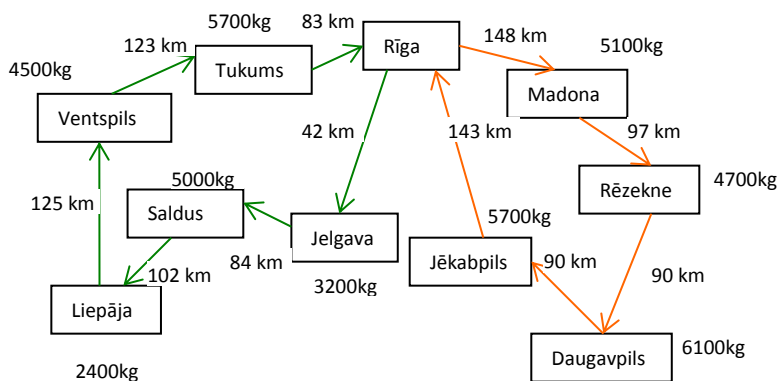
$$LP \begin{pmatrix} (0) \\ 3 \\ 4 \\ 6 \\ 9 \\ (7) \end{pmatrix} = 559$$

Optimizācijas procesu vienai grupai veic programma $SoptI(group)$, bet divām grupām — ($Sopt\ GROUPS$) un visbeidzot programma $Opt(RN, GROUPS)$ veic procesu nepieciešamajā skaitā RN, ieskaitot zaudēto kilometru pārbaudi abiem maršrutiem.

Visu permutāciju iterācijas rezultātā (aprakstīts nodaļā „Optimizācijas metodes”) tiek aprēķināta vislabākā kombinācija.

Uzdevums atrisinājums ir aprakstā zemāk.

Optimālie maršruti ir attēloti attēlā 2.2. Šeit redzam, ka vienam kravas automobilim ir aplveida maršruts, kurš sākas Rīgā un virzība turpinās uz punktu 8. Madonu, tad uz punktu 2. Rēzekni, 1.Daugavpili, 5.Jēkabpili un visbeidzot atpakaļ uz Rīgu. Arī otrā automašīna savu maršrutu sāk no Rīgas, tad pārvietojas uz punktu 3.Jelgavu, tad uz 4. Saldu, 6. Liepāju, 9. Ventspili, 7. Tukumu un tad atgriežas atpakaļ Rīgā. Kopējā nobrauktā distance ir vienāda ar 1.127×10^3 .



Attēls. 2.2. Pabeigtie optimālie maršruti

Kā redzams attēlā 2.2., abu maršrutu izveidei par pamatu ņemta kravas automobiļu ietilpība, kā tas norādīts tabulā 2.2.

Tabula 2.2.

Piegādes maršrutu grupēšana, balstoties uz kravas automobiļu ietilpību

Maršruts 1		Maršruts 2	
Piegādes punkts	Apjoms, kg	Piegādes punkts	Apjoms, kg
Tukums	5700	Madona	5100
Ventspils	4500	Rēzekne	4700
Liepāja	2400	Jēkabpils	5700
Saldus	5000	Daugavpils	6100
Jelgava	3200	-	-
Kopā	20800	Kopā	21600

Tagad apskatīsim to, kādā veidā šie rezultāti tika iegūti. Tika veikti trīs eksperimenti ar dažādām sākotnējām klientu grupām. Šīs sākotnējās grupas $G^{(1)}$ un $G^{(2)}$ ir norādītas apakšējo tabulu pirmajās divās kolonnās. Par iterāciju šeit tiek dēvēti secīgi soļi 1 – 7, kuri uzlabo iepriekšējos rezultātus. Tabulās 2.3. – 2.5. iekļauti trīs eksperimentu rezultāti — iegūtie iterāciju rezultāti un zaudējuma vērtība (pēdējā rinda). Ir redzams, ka ieteiktā metode strādā.

Tabula 2.3.

Eksperiments Nr. 1.

0. iterācija		1. iterācija		2. iterācija		3. iterācija	
$routs^{(1)}$	$routs^{(2)}$	$routs^{(1)}$	$routs^{(2)}$	$routs^{(1)}$	$routs^{(2)}$	$routs^{(1)}$	$routs^{(2)}$
0	0	0	0	0	0	0	0
1	5	5	8	3	7	5	7
2	6	1	2	1	4	1	9
3	7	4	6	2	6	2	6
4	8	3	9	8	9	8	4
	9		7		5		3
8.032×10^5		2.094×10^4		1.113×10^4		1.127×10^3	

Tabulā 2.3. redzam, ka katra nākamā iterācija uzlabo iepriekšējās iterācijas rezultātu.

Apakšējā tabulā 2.4. attēloti ātrāka eksperimenta rezultāti gadījumiem, kad nepieciešams pieņemt optimālus lēmumus. Nepieciešamais rezultāts (1.127×10^3) tika iegūts, atkārtojot procesu trīs reizes.

Tabula 2.4.

Eksperiments Nr. 2.

0. iterācija		1. iterācija		2. iterācija	
$routs^{(1)}$	$routs^{(2)}$	$routs^{(1)}$	$routs^{(2)}$	$routs^{(1)}$	$routs^{(2)}$
0	0	0	0	0	0
4	9	7	3	5	7
2	5	9	4	1	9
6	7	6	1	2	6
8	1	5	2	8	4
	3		8		3
1.804×10^5		2.094×10^4		1.127×10^3	

Rezultāti, kas tika iegūti trešajā eksperimentā ir attēloti zemāk tabulā 2.5. Visos eksperimentos katra nākamā iterācija uzlabo iepriekšējās iterācijas rezultātu.

Tabula 2.5.

Eksperiments Nr. 3.

0. iterācija		1. iterācija		2. iterācija		3. iterācija	
$routs^{(1)}$	$routs^{(2)}$	$routs^{(1)}$	$routs^{(2)}$	$routs^{(1)}$	$routs^{(2)}$	$routs^{(1)}$	$routs^{(2)}$
0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	8	3	9	3	8	7
2	7	6	4	6	5	2	9
5	4	9	2	4	1	1	6
8	3	7	1	7	2	5	4
	9		5		8		3
7.040×10^4		2.093×10^4		1.100×10^4		1.127×10^3	

Detalizēts eksperimentu apraksts ar dažādām sākotnējām klientu grupām ir izklāstīts 1. pielikumā.

Balstoties uz rezultātiem, kas iegūti eksperimentu laikā, varam secināt, ka piedāvāta metode ir piemērota piegādes maršrutu izveides problēmu risināšanai.

2.3. HIERARHISKĀ OPTIMIZĀCIJA RESURSU SADALĒ START LOGISTIKAS CENTRA VIENĪBĀM

Problēmas vide

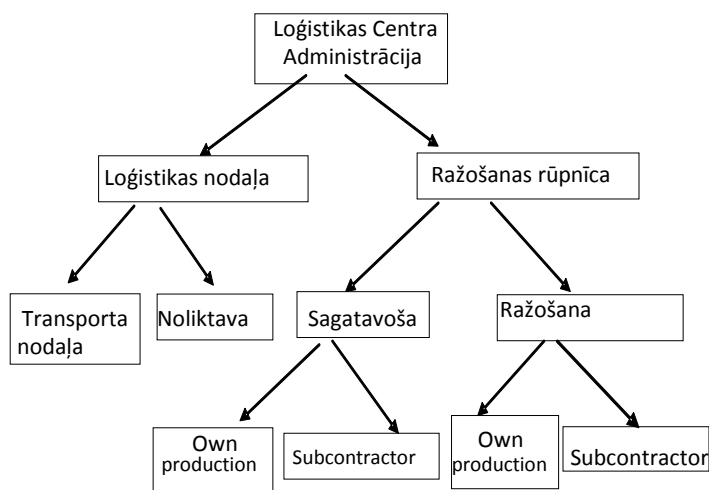
Tagad pievērsīsimies cita uzdevuma problēmu risināšanai. Šeit attēlota hierarhiskā optimizācija resursu sadalē starp loģistikas centra vienībām. Kāda Latvijas kompānija ir noteiktu produktu ražotāja un tirgotāja. Nozīmīga preču daļa, kas ir apmēram 40% no kopējā apjoma, tiek importēta no ārzemēm. Tajā pašā laikā 60% produktu ir Latvijas izcelsme, tie tiek ražoti pašas kompānijas ražotnēs un kopā ar apakšuzņēmumiem. Lai līdz minimumam samazinātu produktu glabāšanas laiku noliktavās, kā arī tūlumu, ko tie aizņem, un maksimāli palielinātu preču piegādes ātrumu un efektivitāti klientiem, loģistikas pakalpojumu sniedzējs izstrādāja piegādes ķēdi, kuru prezentēja pašas kompānijas Loģistikas Centrs. Viens no Loģistikas ķēdes uzdevumiem ir vienlaikus izveidot gan iekārtas, gan piegādes procesu tā, lai tie palīdzētu labāk

noteikt un apmierināt klientu vajadzības. Izmantojot informācijas tehnoloģijas un efektīvu informācijas plūsmu starp ķēdes locekļiem, kā arī izprotot klientu uzņēmējdarbību un vajadzības, Loģistikas Centrs precīzi laikā piegādā izejmateriālus un gatavās preces. Kompānijas darbība nebūtu veiksmīga bez ievērojamā darba, ko veic Loģistikas Centrs, kura hierarhiskā struktūra attēlota zemāk redzamajā Attēlā 2.3.

Loģistikas Centrs sastāv no divām nodaļām - loģistikas nodaļas un ražošanas rūpnīcas.

Kompānijas loģistikas nodaļa ir 600 kvadrātmetru plašu noliktavu. Loģistikas nodaļā strādā 7 darbinieki: 3 no tiem strādā ofīsā, 4 ir noliktavas strādnieki. Loģistikas nodaļas darba izmaksas ir apmēram 15 000 Ls mēnesī. Loģistikas nodaļas pienākumos ietilpst izejmateriālu piegāde ražotnēm, gatavo preču noliktavas pārzināšana, pasūtīto preču savlaicīgas piegādes nodrošināšana klientiem, kā arī preču daudzuma kontrole veikalā, tajā pašā laikā nepieļaujot pārslogojumu. Pašai kompānijai piederoši transporta līdzekļi palīdz izplatīt preces un uzturēt ātrus sakarus starp ražotnēm.

Ražošanas procesā ir nodarbināti 70 darbinieki. Kompānijai pieder 1000 kvadrātmetru plaša ēka un pašai savas apstrādes iekārtas. Ražošanas pašreizējās izmaksas ir apmēram 45 000 Ls.



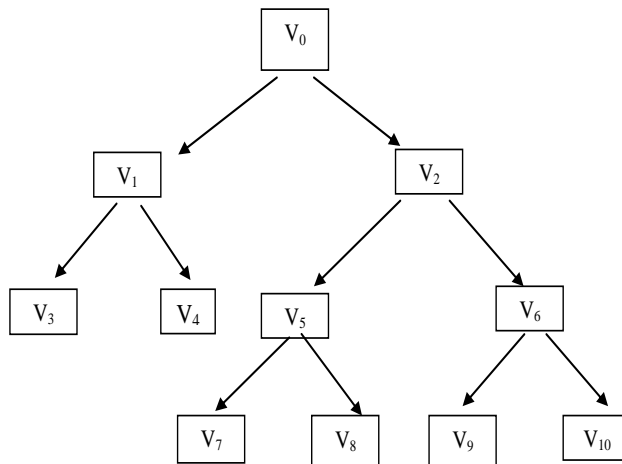
Attēls 2.3. Hierarhiskā struktūra

Loģistikas Centra svarīgākais uzdevums ir apvienot divus procesus, no kuriem katram ir savas īpatnības un prasības: ražošanas procesu un preču realizācijas (pārdošanas) procesu. Mūsu gadījumā loģistikas nodaļa ir daļa no abiem procesiem – tā piedalās izejmateriālu piegādē ražošanai, kā arī nodrošina preču piegādi gala lietotājam pārdošanai.

Ekonomiskās krīzes apstākļos pasūtījumu skaits no klientiem samazinās, un tas izraisa krājumā esošo preču pārslogojumu, kā arī ražošanas apjomu samazināšanos. Kompānijas vadībai jāsamazina pieaugošās izmaksas, neiznīcinot darba procesu kompānijā. Ar nolūku atrast pareizo

problēmas risinājumu vadība nolemj veikt peļņas un zaudējumu analīzi dažādiem kompānijas attīstības scenārijiem, lai visefektīvākajā veidā sadalītu pieejamos finansiālos resursus starp Loģistikas Centra nodaļām.

Loģistikas Centrs sastāv no atsevišķām nodaļām. Mēs apsveram optimālu ierobežoto resursu sadalīšanu starp šīm nodaļām. Kompānijai ir hierarhiska struktūra, kas nozīmē, ka katras nodaļas (neskaitot terminālus) pārziņā ir divas citas nodaļas. Tā mēs iegūstam kokveidīgo struktūru, kas attēlota Attēlā 2.4.



Attēls 2.4 Kokveidīgā struktūra

Šo struktūru parāda relāciju matrica T:

$$T := \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & -1 & -1 & 7 & 9 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 2 & 4 & 6 & -1 & -1 & 8 & 10 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

Lai padarītu matricu saprotamu Mathcad 14 programmai, tā jāpārliet Tabulā 2.5. redzamajā matricā.

Tabula Nr. 2.5

Relāciju matrica T

	0	1
0	1	2
1	3	4
2	5	6
3	-1	-1
4	-1	-1
5	7	8
6	9	10
7	-1	-1
8	-1	-1
9	-1	-1
10	-1	-1

Matricas rindas norāda kompānijas vienības, bet kolonnas – apakšvienību skaitu. Kolonna zem numura “0” norāda kreisās vienības – “dēla” – numuru, bet kolonna zem numura “1” norāda labo “dēlu”. Vērtības skaitlis -1 norāda, ka vienībai nav apakšvienību. Tātad Tabula 2.5. atbilst Attēla 2.4. kokveidīgajai struktūrai.

Pastāv vienpadsmit doto mezglu numuri, $n = 11$.

Pastāv dažādi attīstības varianti no 1 līdz n_i katrai i vienībai. Katrs j ($j = 1, 2, \dots, n_i$) variants nosaka sekojošos parametrus: 1) attiecīgās i vienības peļņa $Mi_{j,0}$ no dotā variantā j realizācijas. Svarīgi ir tas, ka peļņa ir atkarīga ne tikai no dotās vienības resursiem, bet arī no tās apakšvienībām piešķirtajiem resursiem; 2) resurss $Mi_{j,1}$, kas vajadzīgs pirmajai apakšvienībai (kreisais “dēls”); 3) resurss $Mi_{j,2}$ dotajai vienībai; 4) resurss $Mi_{j,3}$, kas vajadzīgs otrajai apakšvienībai (labais “dēls”).

Datus katrai i vienībai dod matrica Mi tādā pašā veidā, kā tas zemāk parādīts matricā $M0$ (Tabulā 2.6.). Matricas rindas atbilst dotajai vienībai piedāvātajiem variantiem. Katrā rindā norādīti augstāk minētie parametri dotajam variantam.

Tabula Nr. 2.6.

0-Mezglu indeksi

$$M0 := \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 19 & 3 & 48 \\ 2.5 & 9.1 & 0 & 37 \\ 4.3 & 26 & 2 & 36 \end{pmatrix}$$

Uzdevums ir sadalīt resursus starp vienībām tādā veidā, lai iegūtu maksimālo kopējo peļņu.

Dinamiskās programmēšanas metode

Šo uzdevumu risina, izmantojot Ričarda Belmana radīto dinamiskās programmēšanas metodi. Dinamiskās programmēšanas koncepcija paredz, ka plaša mēroga problēma tiek sadalīta inkrementālās apakšproblēmās, no kurām katru var atrisināt, un iegūtais risinājums ir optimāls. Rezultātā, izmantojot formulu, galējo risinājumu var rast, nemainot iepriekš atrastos apakšproblēmu risinājumus, un nepārrēķinot atsevišķas algoritma daļas.

Dinamiskā programmēšana ir paredzēta lēmuma pieņemšanai soli pa solim. Mūsu gadījumā tas nozīmē pieņemt lēmumu secīgi katrai atsevišķai vienībai. Piemēram ņemsim kādu brīdi laikā, kad jāpieņem lēmums vienībai v , ar noteikumu, ka pieejamie resursi ir vienādi ar r . Šos resursus jāsadala starp vienību v (tēvu) un visām viņa atvasēm. Izveidosim k dažādus risinājumus vienībai v .

Tad Belmana funkcija $F(v,r)$ dod šajā gadījumā iespējamo maksimālo peļņu. Vērtība $F(v,r)$ apzīmē maksimālo peļņu, kuru varētu gūt no vienības v un visām tās atvasēm par resursu r .

Šos aprēķinus jāpielieto, sākot ar beigu vienībām un beidzot ar koka sakni.

Katru reizi Belmana funkcijas tiek aprēķinātas vienībām, kurām ir dēli (apakšvienības) ar jau aprēķinātām Belmana funkcijas vērtībām. Beigu vienībai nav dēlu (nosacījums $T_{v,0} + T_{v,1} = -2$ ir spēkā vienībai ar numuru v), un visi resursi tiek nodoti šai vienībai. Tādēļ, lai piemērotu projektu ar numuru j tādai v vienībai, ir nepieciešams izpildīt nosacījumu

$$Mv_{j,2} \leq r \quad (2.5)$$

No v vienībai piedāvātajiem projektiem tiek izvēlēts projekts j^* , kuram

$$j^* = \arg \{ j=1, \dots, n_i : \max \{ Mv_{j,0} : Mv_{j,2} \leq r \} \} \quad (2.6)$$

Pārējām vienībām $v=1,2,\dots,10$ jābūt izpildītam nosacījumam

$$Mv_{j,1} + Mv_{j,2} + Mv_{j,3} \leq r \quad (2.7)$$

Tagad no visiem v vienībai piedāvātajiem projektiem tiek izvēlēts projekts j^* , kam

$$j^* = \arg \{ j=1, \dots, n_i : \max \{ Mv_{j,0} + F(v_0, Mv_{j,1}) + F(v_1, Mv_{j,3}) : Mv_{j,1} + Mv_{j,2} + Mv_{j,3} \leq r \} \} \quad (2.8)$$

kur

$v_0 = T_{v,0}$ - kreisā v dēla numurs;

$v_1 = T_{v,1}$ - labais v dēls.

Rezultātā Belmana funkcijas $F(v, r)$ tiks aprēķinātas visām vienībām un doto resursu $r = 0, 1, \dots, R$ apjomiem. Augstāk minētās procedūras nosaukums ir dinamiskās programmēšanas apgrieztais ("bottom-up") algoritms (*inverso atvasināšana*).

Tiešais ("top-down") algoritms (*tiešā atvasināšana*) dod optimālos piešķiramo resursu apjomus katrai vienībai v . Tas tiek īstenots pretējā virzienā iepriekš minētajam – no saknes līdz beigu vienībām, katru reizi pārejot no tēva pie viena no viņa dēliem.

Saknei (vienība ar numuru 0) optimālais risinājums atbilst projektam j^* , kas saskan ar vienādību

$$\begin{aligned} F(0, R) &= M0_{j^*,0} + F(1, M0_{j^*,1}) + F(2, M0_{j^*,3}), \\ M0_{j^*,1} + M0_{j^*,2} + M0_{j^*,3} &\leq R, \end{aligned} \quad (2.9)$$

jo vienībai ar numuru 0 ir visi resursi: $r^*(0) = R$

Piedevām mēs nosakām dēliem piešķirtos resursus.

$$r(T_{0,0}) = M0_{j^*,0}, r(T_{0,1}) = M0_{j^*,2} \quad (2.10)$$

Nākamais solis ir doties pie viena no dēliem v , zinot, kādi ir tiem izsniegtie resursi. Gadījumā, ja vienībai v ir resurss r , un, ja tai ir dēls $v0 = T_{v,0}$ (kreisais dēls) un dēls $v1 = T_{v,1}$ (labais dēls), tad optimālais risinājums r^* vienībai v būs projekts j^* , kas atbilst vienādībai

$$F(v,r) = Mv_{j^*,0} + F(v0, Mv_{j^*,1}) + F(v1, Mv_{j^*,3}),$$

$$Mv_{j^*,1} + Mv_{j^*,2} + Mv_{j^*,3} \leq R. \quad (2.11)$$

Dēliem piešķirtie resursi ir sekojoši:

$$r(T_{v,0}) = Mv_{j^*,0}, r(T_{v,1}) = Mv_{j^*,2} \quad (2.12)$$

Tiešais algoritms ir pabeigts, kad visi punkti (vienības) ir aprēķināti līdz tiem, kam nav dēlu.

Datorrealizācija

Tālāk sniegta informācija par datorprogrammām, kas tiek izmantotas augstāk minētā Belmana algoritma realizēšanai.

Mūsu izmantotā programmēšanas valoda ir plaši pazīstamā matemātiskā pakete Mathcad 14.

Mēs izveidojam apvienoto matricu M , lai izmantotu to Mathcad programmā:

$$M^T = [M0^T \ M1^T \ \dots \ M10^T]^T \quad (2.13)$$

Tagad mūsu problēma ir atrast informāciju par konkrēto vienību. Lai to atrisinātu, mēs radām īpašo Mathcad-programmu *Locman*. Tad veselajam skaitlim i Locman dod matricas M rindas numuru, kas ir pirmā informācijas rinda matricai Mi .

Programma *Father(v)* dod vektoru ar 2 komponentiem, viens no kuriem ir -1. Otrais komponents ir vesels skaitlis 1, kas parāda tās vienības numuru, kura ir tēvs vienībai v . Komponenta atrašanās vieta parāda, kurš dēls ir dotā vienība: ja tas ir augšējā pozīcijā, dotā vienība ir kreisais dēls, bet, ja tas atrodas apakšā, dotā vienība ir labais dēls.

Aplūkosim piemēru:

$$Father(9) = \begin{pmatrix} 6 \\ -1 \end{pmatrix}$$

Šeit vienības numur 9 tēvs ir vienība numur 6, un vienība numur 9 ir vienības numur 6 kreisais dēls.

$$Father(10) = \begin{pmatrix} -1 \\ 6 \end{pmatrix}$$

Vienības numur 10 tēvs ir vienība numur 6, un vienība numur 10 ir vienības numur 6 labais dēls.

Dinamiskās programmēšanas apgriezto algoritmu realizē programma $F(v,r)$, kura dod Belmana funkcijas vērtību vienībai v , kurai ir noteiktais resurss r . Rezultātā mēs iegūstam maksimālās peļņas vērtību, un optimālā risinājuma numuru no matricas M .

Tiešo algoritmu realizē programma $GlobD$. Citiem vārdiem, $GlobD$ dod matricu ar optimālajiem lēmumiem visām vienībām, kuru resurss ir vienāds ar R . Matricu rindas attiecas uz vienībām, un satur optimālo vērtību konkrētajai vienībai. Šeit, r_i ir resurss i vienībai piešķirtais resurss, d_i – optimālais lēmums i vienībai.

Skaitliskie rezultāti

Mūsu piemērā Tabulā 2.7. ir minēti sekojošie skaitliskie dati.

Tabula 2.7

Mezglu indeksi

$$\begin{aligned}
 M1 &:= \begin{pmatrix} 0 & 11 & 3 & 5 \\ 0.2 & 3.5 & 2 & 4 \\ 1.6 & 16 & 4 & 6 \end{pmatrix} &
 M2 &:= \begin{pmatrix} 6 & 14 & 2 & 32 \\ 2.3 & 6 & 0 & 31 \\ 2.7 & 9 & 2 & 24 \end{pmatrix} &
 M3 &:= \begin{pmatrix} 4.6 & 0 & 11 & 0 \\ 4 & 0 & 4 & 0 \\ 7.3 & 0 & 16 & 0 \\ 40 & 0 & 71 & 0 \end{pmatrix} &
 M4 &:= \begin{pmatrix} -4.6 & 0 & 5 & 0 \\ -3.8 & 0 & 4 & 0 \\ -5.7 & 0 & 0.57 & 0 \\ 8 & 0 & 90 & 0 \end{pmatrix} \\
 M5 &:= \begin{pmatrix} 3 & 6.3 & 0.5 & 7.2 \\ -1 & 3.8 & 1 & 1.28 \\ 1.9 & 4.3 & 1.5 & 3.6 \end{pmatrix} &
 M6 &:= \begin{pmatrix} 3 & 18.2 & 1.8 & 12.3 \\ 3.3 & 19.3 & 2.5 & 9.6 \\ 0.8 & 17.6 & 0.56 & 6 \end{pmatrix} &
 M7 &:= \begin{pmatrix} 2.1 & 0 & 6.25 & 0 \\ 0 & 0 & 3.8 & 0 \\ 1.9 & 0 & 4.27 & 0 \end{pmatrix} &
 M8 &:= \begin{pmatrix} 0.87 & 0 & 7.25 & 0 \\ -1 & 0 & 1.28 & 0 \\ 0 & 0 & 3.56 & 0 \end{pmatrix} \\
 M9 &:= \begin{pmatrix} 1.74 & 0 & 18.25 & 0 \\ 2.32 & 0 & 19.3 & 0 \\ 0.8 & 0 & 17.6 & 0 \end{pmatrix} &
 M10 &:= \begin{pmatrix} 1.23 & 0 & 12.3 & 0 \\ 0.98 & 0 & 9.57 & 0 \\ 0 & 0 & 5.6 & 0 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Hierarhiskā struktūra tika parādīta Tabulā 2.5. Informāciju par mezglu indeksiem sniedz matrica $M0$ (skat. Tabulu 2.6) vienībai ar numuru 0 (sakne) un matricas $M1-M10$ citām vienībām no Tabulas 2.7.

Ievietosim globālos pieejamos resursus kā $R:=64$. Radītā programma dod sekojošos rezultātus:

$$F(0,R) = 15.9.$$

Viens atbilst trešajam risinājumam vienībai 0 (saknei): $j^* = 3$.

Iegūtos rezultātus katrai vienībai parāda matrica *OptD* (skat. Tabulu 2.8). Matricas kolonnas atbilst vienībām. Matricā ir četras rindas. Nulles rinda satur vienību numurus (v). Pirmā matricas *M* rinda satur optimālā resursa vērtību (r^*) attiecīgajai vienībai, otrā rinda satur Belmana funkcijas vērtību (F), trešā rinda satur optimālā risinājuma numuru (j^*).

Tabula 2.8.

Optimāli risinājumi resursu sadalei (matrix OptD)

v	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r^*	64	26	36	16	6	9	24	0	0	0	0
$F(v,r)$	15.9	8.9	2.7	7.3	0	0	0	0	0	0	0
j^*	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0	0

Analizējot aprēķinos iegūtos rezultātus, kas attēloti tabulā 2.8., varam secināt, ka resursi 64 tūkstošu latu apmērā var atnest uzņēmumam maksimālu peļņu 15,9 tūkstošu latu apmērā ar nosacījumu, ka resursi tiks sadalīti noteiktā veidā (par pamatu tiks ņemts optimālais risinājums nr. 3.). Lielāko daļu resursu — 36 tūkstošus latus jāpiešķir ražošanai (2. vienība), savukārt mazākā resursu daļā 26 tūkstošu apmērā loģistikas nodaļai (1. vienība), kurā vislielākais atbalsts jāsaņem transportam (3. vienība) — 16 tūkstošus latus. Pašu ražošanai (6. vienība) vienmēr nepieciešami lielākie ieguldījumu un lielākais resursu daudzums, un šajā gadījumā tai jāpiešķir 25 tūkstoši lati. Lai gan ražošanai nepieciešama lielākā resursu daļa, tās apgrozījums būs vien 2,7 tūkstoši lati. Lielāko daļu ienākumu uzņēmums gūs no loģistikas nodaļas, jo tieši šī vienība saņem naudu no saviem klientiem un nodrošina apgrozījumu visam uzņēmumam.

2.4. LOĢISTIKAS CENTRA PIEGĀDES ĶĒDES OPTIMIZĀCIJA

Potenciālā piegādes ķēde

Lai ar loģistikas centra starpniecību optimizētu piegādes ķēdes procesu, tekstila nozares uzņēmums pieņem lēmumu izveidot jaunu piegādes ķēdi, kura ietver materiālu iegādi un gatavu preču pārdošanu.

Ir nepieciešams pieņemt noteiktus lēmumus, kas skar savstarpēji saistītos piegādes ķēdes elementus, piemēram, izejvielu iepirkšana un piegāde vai ražošana un saražoto preču pārdošana. Tāpēc ir ticis izveidots modelis, kurš ietver vairākus iespējamos attīstības virzienus.

Pirmajā posmā ir jāizvēlas izejmateriālu (auduma) ražotājs. Tiek saņemti piedāvājumi no trīs ražotājiem. Pirmais ražotājs piedāvā labākās kvalitātes viena veida materiālus, kas saražoti izmantojot jaunākos tehnoloģiskos sasniegumus un tiek pārdoti atbilstoši pašreizējām tirgus cenām. Otrs ražotājs piedāvā piegādāt dažāda klāsta augstas kvalitātes materiālus, piedāvājot 10% atlaides. Trešais ražotājs ar 25% atlaidi piedāvā vidējās klases zemākas kvalitātes materiālus, kas atbilst spēkā esošajiem standartiem. Ir svarīgi paredzēt iespējamus attīstības virzienus, apskatot visus trīs piedāvājumus un izvērtējot šādus faktoros: 1) materiāli tiks piegādāti savlaicīgi, 2) kaut kādu iemeslu dēļ materiāli netiks piegādāti, 3) materiāli tiks piegādāti ar nokavējumu. Materiālu saņemšanai paredzētais laiks ir divi mēneši.

Otrais posms ietver materiālu piegādi vietā, kur tiks saražotas faktiskās preces. Izvēloties transporta veidu, ir svarīgi pievērst uzmanību tādiem apstākļiem, kā piegādes laikam, drošībai un dažādiem transporta koeficientiem. Preču piegāde var notikt pa ūdeni kravas konteineros, pa gaisu, pa ceļu vai izvēloties ekspresa piegādi. Ja materiāli tiek saražoti savlaicīgi, ir ieteicams izmantot zemo izmaksu transportlīdzekļus, piemēram, kuģus, kas ir lētākais, bet lēnākais transporta veids. Ja nepieciešama ātra piegāde, priekšroka parasti tiek dota lidmašīnām. Piegāde, izmantojot automobili, var būt ļoti efektīva, ja piegādātāju no saņēmēja šķir mazs attālums. Ja piegādi nepieciešams veikt ļoti steidzami, ieteicams izmantot ekspresa piegādes pakalpojumus, kuri ir visdārgākie no visiem piegādes veidiem.

Saņemot kravu, pastāv iespēja saskarties ar šādiem gadījumiem:

- 1) materiāli ir nogādāti līdz galapunktam un tos var sākt izmantot ražošanā;
- 2) krava ir nogādāta līdz terminālim (noliktava, osta, lidosta) un ir nepieciešams nogādāt to līdz ražošanas vietai. Noteiktiem nolūkiem daļu kravas var atstāt terminālos;
- 3) pastāv iespēja, ka krava ir bojāta vai ir saņemts nepareizais daudzums.

Trešais posms ietver gatavās produkcijas pārdošanu. Ir trīs galvenie kanāli, kurus var izmantot preču pārdošanai:

- 1) uzņēmuma veikalu tīkls;
- 2) vairumtirgotāji;
- 3) ārvalstu izplatītāji.

Realizējot preces var saskarties ar šādiem gadījumiem:

- 1) precēm ir liels pieprasījums, tās tiek veiksmīgi pārdotas, un uzņēmums gūst labu peļņu,
- 2) preces nokļūst vidus tirgū, tās nenes peļņu taču sedz izdevumus,
- 3) neskatoties uz pieliktajām pūlēm un ieguldījumiem, precēm nav pieprasījuma, apgrozījums ir ļoti zems, un uzņēmums ir spiests strādāt mīnusos.

Lai noskaidrotu, cik efektīvs ir pieņemtais lēmums, vērā tiek ņemti šādi kritēriji:

- 1) maksimālā varbūtība, ka tiks sasniegts pēc iespējas labāks rezultāts
- 2) vidējās peļņas palielināšanās.

Ideālajā gadījumā, ja precēm ir liels pieprasījums un apgrozījums, jācenšas piegādāt tās līdz galalietotājam pēc iespējas īsākā laikā.

Līdz ar to mūsu uzdevums ir pieņemt pareizus lēmumus, kas saistīti ar izejvielu piegādātājiem, transporta veida un pārdošanas kanāla izvēli. Citiem vārdiem runājot, mums ir

jāizvēlas ķēde, ar kuras palīdzību izejvielas pārstrādātā veidā nokļūst līdz galalietotājam, sniedzot uzņēmumam pēc iespējas lielāku peļņu.

Matemātiskais modelis un metode lēmumu pieņemšanai, veidojot piegādes ķēdi

Lēmumu pieņemšanu var attēlot tīkla struktūras T veidā, kā tas parādīts attēlā 2.5. „Lēmumu pieņemšanas tīkla struktūra” parāda tagadējos un nākotnes lēmumus, kuri skar materiālu piegādi un gatavo preču realizācijas kanālus. Tīklā redzamas diva veida taisnes un virsotnes.

Punkti apļos norāda uz to, kāds būs sistēmas stāvoklis pēc tam, kad tiks pieņemts attiecīgais lēmums. Stāvokļi bez taisnēm tiek dēvēti par avotpunktiem un apzīmē lēmuma pieņemšanas procesa sākotnējo brīdi. Virsotnes 1, 2 un 3 apraksta apstākļus, kas saistīti ar piegādātājiem. Piemēram, 1 norāda uz vislabāko stāvokli, jo tam atbilst situācija, kad visi materiāli tiek piegādāti savlaicīgi.

Vismaz viens vai vairāki taisnes skar katru no stāvokļiem, izņemot 0. Šie taisnes apzīmē pāriešanu no viena stāvokļa citā. Beigu stāvokļi ir tādi stāvokļi, no kuriem neiziet taisnes, un tie atbilst lēmumu pieņemšanas procesa galējam brīdim. Tabulā 2.9. doti visu 10 stāvokļu apraksti.

Dimantveida virsotnes apzīmē lēmumu pieņemšanu. Dimantveida virsotnes 0, 1 un 2 apzīmē ražotāja izvēles. Piemēram, virsotne 0 atbilst 1. ražotājam, kas minēts augstāk. Ekvivalence starp virsotnes ciparu un augstākminēto lēmumu ir aprakstīta tabulā 2.10.

Taisnes, kas sniedzas līdz dimantveida virsotnēm, apzīmē noteikta lēmuma pieņemšanu. Savukārt taisnes, kas iziet no dimantveida virsotnēm, norāda uz potenciālo sistēmas stāvokli pēc lēmumam pieņemšanas.

Tabula 2.9.

Stāvokļu apraksts

Stāvokļa skaitlis	Apraksts
0	Lēmumu pieņemšanas procesa sākuma brīdis
1	Materiāli tiek saražoti savlaicīgi
2	Materiāli kāda iemesla dēļ nav tikuši saražoti
3	Materiāli tikuši saražoti ar nokavējumu
4	Materiāli tikuši veiksmīgi piegādāti galapunktā un tos var sākt izmantot preču ražošanā
5	Materiāli ir piegādāti līdz tranzīta terminālim (noliktavai, ostai, lidostai) un tos nepieciešams nogādāt līdz ražošanas vietai
6	Materiāli ir pazuduši vai ir bojāti
7	Daļa materiālu tikuši atstāti noliktavās un tos ražošanā izmantos vēlāk

8	Precēm ir liels pieprasījums, tās tiek veiksmīgi pārdotas, un uzņēmums gūst labu peļņu,
9	Preces nokļūst vidus tirgū, tās nenes peļņu, bet sedz izdevumus
10	Neskatoties uz pieliktajām pūlēm un ieguldījumiem, precēm nav pieprasījuma, apgrozījums ir ļoti zems, un uzņēmums ir spiests strādāt mīnusus

Tas, ka tiek pieņemts kāds noteikts lēmums, nenozīmē, ka tiks sasniegts tikai viens viennozīmīgs rezultāts. Taisnes, kas iziet no virsotnēm, parāda turpmāko stāvokļu varbūtību. Kopējā varbūtības summa ir 1. Piemēram, kā parādīts attēlā 2.5., izvēloties izejvielu ražotāju, sistēmas varbūtība nokļūt 1. stāvoklī būs 0,1, ja tiks izvēlēts pirmais izejvielu ražotājs. Ja tiks izvēlēts otrais ražotājs, tad šāda varbūtība ir 0,5. Izvēloties trešo ražotāju, varbūtība nokļūt 1. stāvoklī ir 0,8. 2. stāvoklis ir beidzamais stāvoklis, jo visas darbības noved pie negatīva rezultāta un vairs nav augsnes turpmākai attīstībai, tāpēc atliek tikai divi stāvokļi, kuriem nākotnē ir izaugsmes potenciāls.

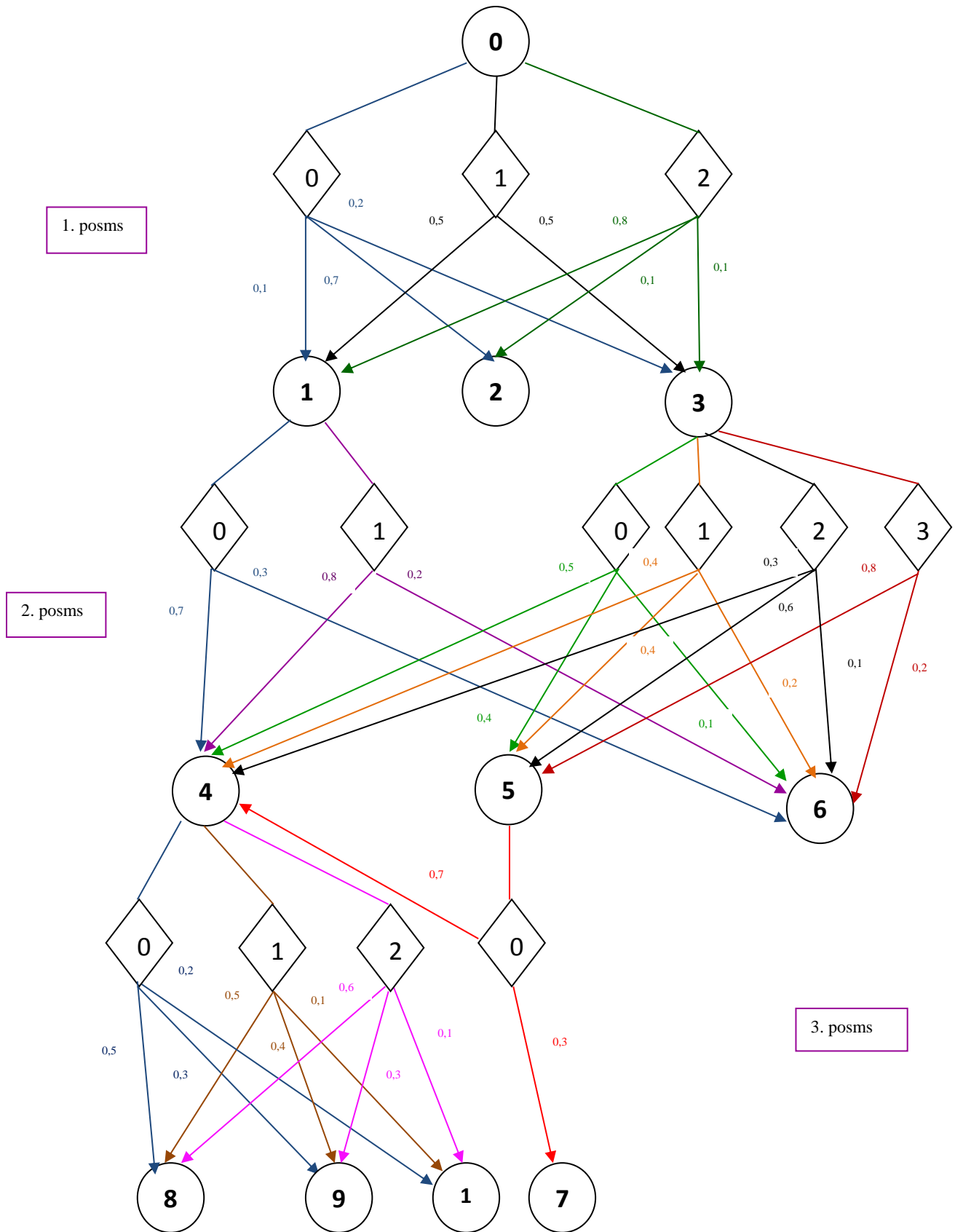
Nākamā dimantveida virsotņu rinda (2. posms) ietver loģistikas uzņēmuma un piegādes transporta veida izvēli, lai izejvielas varētu nokļūt līdz vietai, kur tiks saražotas faktiskās preces. Dimantu skaitļi norāda uz iepriekš minētajām piegādātāju izvēlēm.

Pēdējā dimantveida virsotņu rinda (3. posms) ietver izvēles, kas saistītas ar gatavās produkcijas laišanu apgrozībā.

Tabula 2.10.

Virstoņu atrašanās vieta lēmumu pieņemšanas tikla struktūra

<i>Stāvokļa skaitlis</i>	0	1	2	3
<i>Attīstības posmi</i>				
1. posms: izejvielu ražotāja izvēle	Ražotājs ražo augstas kvalitātes specializētus materiālus, izmantojot augstus tehnoloģiskos sasniegumus un pārdod materiālus par tirgus cenām	Ražotājs pārdod plaša klāsta augstas kvalitātes materiālus, piedāvājot 10% atlaidi	Ražotājs pārdod vidējas klases zemākas kvalitātes materiālus, kas atbilst vispārpieņemtajiem standartiem ar 25% atlaidi	-
2. posms: izejvielu piegādes transporta izvēle	Piegāde pa jūru — vislētākā, bet visilgākā	Piegāde pa gaisu — ātra, bet dārga	Piegāde izmantojot ekspress pastu — visātrākais un visdārgākais	Piegāde pa ceļu — izdevīgi un ātri nelieliem attālumiem
3. posms: izvēles, kas saistās ar preču laišanu apgrozībā	Personīgais veikalu tīkls	Vairumtirgotāji	Ārzemju izplatītāji	-



Attēls 2.5. Tīkla struktūra „Lēmumu pieņemšanas tīkla struktūra”

Apskatīsim sākuma datus no materimātiskā skatpunkta.

Katrai pozīcijai ir zināmi stāvokļi, kas seko iepriekšējiem stāvokļiem. Tie ir atspoguļoti matricā T un parādīti tabulā 2.11. Matricu rindas atbilst pašreizējiem stāvokļiem, bet kolonnas — dažādiem lēmumiem. Matricas elementi atspoguļo turpmāko stāvokļu skaitļus. Šeit skaitlis -1 norāda uz nākotnes stāvokļa neesamību.

Tabula 2.11.

Matrica T

$$T^T = \begin{array}{c|cccccccccccc} & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 \\ \hline 0 & 1 & 4 & -1 & 4 & 8 & 4 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 2 & 6 & -1 & 5 & 9 & 7 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 2 & 3 & -1 & -1 & 6 & 10 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{array}$$

Katrā stāvoklī jāpieņem viens vienīgais lēmums no vairāku lēmumu klāsta, tas neattiecas uz terminālu stāvokļiem. Varbūtība, ka izdosies nokļūt līdz nākamajam stāvoklim, ir atkarīga no pieņemtā lēmuma. Pieņemsim, ka $Pr_{j,i,k}$ varbūtība, ka izdosies nokļūt no stāvokļa i uz stāvokli k , ar nosacījumu, ka tiks pieņemts lēmums j . Atbilstošā matrica tiek nodēvēta par Pr_j . Piemēram, matrica Pr_0 , kas norādīta zemāk tabulā 2.12. Matricas Pr_j rindas atbilst dažādām virsotnēm, savukārt kolonnas atbilst dažādiem stāvokļiem. Matricas Pr_j atspoguļo attiecīgās varbūtības. Stāvokļu skaitļus nosaka matrica T .

Tabula 2.12.

Matrica Pr_0

$$Pr_0 := \begin{pmatrix} 0.1 & 0.7 & 0.2 \\ 0.5 & 0 & 0.5 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix}$$

Ir aprēķināti arī sagaidāmo peļņu apmēri katram stāvoklim. Peļņas atspoguļotas vektorā c .
Tabula 2.13. atbilstošā peļņa.

Tabula 2.13.

Sagaidāmā stāvokļa katram stāvoklim c .

Stāvoklis, j	Peļņa, c_j	Varbūtības koeficients, \hat{c}_j
0	0	0
1	-10000	0
2	-500	0
3	-12000	0
4	-5000	0
5	-500	0
6	-5000	0
7	-2000	0
8	30000	0
9	40000	0
10	60000	1

Tiek piedāvāti divi kritēriji, lai novērtētu, cik efektīvs ir pieņemtais lēmums:

- 1) maksimālā varbūtība, ka tiks sasniegti labākie rezultāti
- 2) vidējais peļņas pieaugums.

Ienākumi no visiem stāvokļiem tiek skaitīti kopā. Kopējā vērtība ir nejaus mainīgs, jo arī pāreja starp stāvokļiem ir nejausa. Mūsu uzdevums ir pieņemt katram stāvoklim tādu lēmumu, lai iegūtu maksimāli iespējamo peļņu vidējo kopsummu.

Šī mērķa sasniegšanai tiek izmantota dinamiskās programmēšanas metode.

Dinamiskā programmēšana ietver lēmumu pieņemšanu soli pa solim. Mūsu gadījumā tas nozīmē lēmumu pieņemšanu atsevišķi katram stāvoklim. Pieņemot lēmumu attiecībā uz stāvokli j , jāņem vērā laika resursu apstākļi. Svarīgi atzīmēt, ka gadījumā, ja stāvoklis j nav galējs, jāapskata arī stāvokļi, kuriem ir lielāks j skaitlis.

Izmantosim Belmana funkciju $F(j)$ — šī ir maksimāli iegūstamais peļņas vidējais apjoms, kuru var iegūt, sākot ar stāvokli j līdz pat brīdim, kad lēmumu pieņemšanas process ir beidzies. Lai aprēķinātu šīs funkcijas, jāizmanto šādi Belmana vienādojumi:

$$F(j) = \max_{k \in D(j)} \left\{ c_j + \sum_{i \in S_{jk}} \Pr j_{i,k} F(i) \right\}, \quad (2.14)$$

kur

S_{jk} – stāvokļu skaitļu kopa, sekojot stāvoklim j ar nosacījumu, ka tiek pieņemts lēmums k

$D(j)$ – stāvokļa j iespējamo lēmumu kopums.

Šie vienādojumi jālieto, sākot ar beidzamajiem stāvokļiem un turpinot ar sākuma stāvokļiem. Beidzami stāvokļi ir gala stāvokļi, tāpēc pirmais elements formulā atrodas iekavās (2.14.). Tanī pašā laikā katram stāvoklim ir pieņemts optimālais laika resursu lēmums k^* . Šajā

lēmumā laika vērtība iekavās atbilst formulai $F(j)$ (2.14.). To dēvē par dinamiskās programmēšanas *inverso atvasināšanu*.

Tiešā atvasināšana optimālu lēmumu kārtību katram no stāvokļiem. Tā tiek veikta virzienā, kas ir pretējs minētajai *inversajai atvasināšanai* — virzoties no stāvokļa j , uz kādu citu stāvokli, kas atbilst optimālajam lēmumam k^* stāvoklī j , virzība sākas no sākuma stāvokļiem un noslēdzas ar galastāvokļiem. Tiešās atvasināšanas algoritms noslēdzas tad, kad tiek aprēķināti visi stāvokļi un algoritms atduras pret stāvokļiem, kuriem vairs nav nākotnes.

Datoraprēķini

Aprakstītais algoritms tiek īstenots, izmantojot programmu *OptValue*. Šī programma sniedz matricu, kurai ir divas kolonnas: pirmajā kolonnā ir maksimālā peļņa $F(j)$, savukārt otrajā — optimālie lēmumi k^* katram stāvoklim j . Programma radīta, izmantojot matemātisko paketi MathCAD 14

Programmas primārie dati:

- Matrica T , kas apraksta izpētīto tīklu. Matricas rindas atbilst tīkla stāvokļiem, savukārt rindu elementi atspoguļo turpmāko stāvokļu skaitus. Vērtība -1 apzīmē turpmākā stāvokļa neesamību.
- Vektors c apzīmē peļņu, kura tiek saņemta, sasniedzot katru nākamo stāvokli.
- Variācijās pārejas matrica Pr_j stāvoklim j . Matricas rindas atbilst dažādiem lēmumiem k , bet kolonnas — turpmākiem stāvokļiem (saskaņā ar matricu T).

Galvenajai programmai *OptValue* ir papildprogramma $Pr(j)$, kas izvada matricu Pr_j atbilstoši skaitlim j .

Skaitliskie rezultāti un analīze

Mūsu piemēram tiek izmantoti skaitliskie dati no tabulām 2.12, 2.13, 2.14.

Tabula 2.14.

Varbūtību matricas

$$Pr0 := \begin{pmatrix} 0.1 & 0.7 & 0.2 \\ 0.5 & 0 & 0.5 \\ 0.8 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix}$$

$$Pr1 := \begin{pmatrix} 0.7 & 0.3 \\ 0.8 & 0.2 \end{pmatrix}$$

$$Pr2 := (1)$$

$$Pr3 := \begin{pmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \end{pmatrix}$$

$$Pr4 := \begin{pmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.2 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 \\ 0.6 & 0.3 & 0.1 \end{pmatrix}$$

$$Pr5 := (0.7 \ 0.3)$$

Par vienoto kritēriju tiek izvēlēts stāvoklis 10 kā peļņas vektora sasniegšana $\hat{c} = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1)^T$.

Nākamais solis ir izmantot programmu *OptValue*, lai veiktu nepieciešamos aprēķinus optimālo lēmumu un maksimālās vidējās peļņas iegūšanai, kas tiek panākts, izmantojot zināmos Markova ķēdes principus. Programmas *OptValue* darbības attēlotas tabulā 2.15.:

Tabula 2.15.

```

OptValue:=
  n ← rows(T)
  j ← n
  while j > 0
    j ← j - 1
    k ← 0
    for i ∈ 0.. K - 1
      k ← k + if(Tj,i > -1, 1, 0)
    Optj,0 ← cj if k = 0
    otherwise
      PrT ← Pr(j)
      m ← rows(PrT)
      Optj,0 ← -1000
      Optj,1 ← -1
      for i ∈ 0.. m - 1
        Ri ← cj
        for v ∈ 0.. k - 1
          S ← Tj,v
          Ri ← Ri + PrTi,v · OptS,0
        if Ri > Optj,0
          Optj,0 ← Ri
          Optj,1 ← i
  Opt
  
```

k – reālais virzienu skaits
 m – reālais lēmumu skaits

	0	1
0	0.16	1
1	0.16	1
2	0	0
3	0.16	3
4	0.2	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	1	0

Tabulā 2.16. parādīti aprēķinu rezultāti

Tabula 2.16.

Labākā rezultāta sasniegšanas maksimālā varbūtība

Stāvokļa skaitlis	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peļņa	0.16	0.16	0	0.16	0.2	0	0	0	0	0	1
Lēmumu pieņemšana	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0

Izmantojot tabulas 2.13. datus, esam aprēķinājuši vidējo peļņas pieaugumu naudas vienībās. Aprēķinā peļņas vektors ir

$$c = (0 \ -10000 \ -500 \ -12000 \ -5000 \ -500 \ -5000 \ -2000 \ 30000 \ 40000 \ 60000)^T$$

Tabula 2.17.

Maksimālā vidējā peļņa vektoram c

Stāvokļa skaitlis	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Peļņa naudas vienībās	15600	16200	-500	15000	34000	-2500	-5000	-2000	30000	40000	60000
Lēmumu pieņemšana	1	1	0	3	2	0	0	0	0	0	0

Tika apskatīts veids, kā organizēt lēmumu pieņemšanas procesu, lai optimizētu loģistikas centra piegādes ķēdi, izveidojot optimālu jaunu piegādes ķēdi un pārdošanas kanālu. Katrā attīstības posmā bija jāizlemj starp vairākām izvēlēm. Lēmumi atšķiras pēc resursiem, kas nepieciešami, lai tos īstenotu un pēc gūtās peļņas. Efektīvai lēmumu pieņemšanai tika izvirzīti divi kritēriji — maksimālā varbūtība, ka tiks panākts pēc iespējas labāks rezultāts un vidējais peļņas pieaugums.

Uzdevums risināts, izmantojot *dinamiskās programmēšanas* metodi, kuru radījis Ričards Belmans. Darba gaitā, izmantojot paketi MathCAD 14, tika radīta īpaša programma aprēķinu veikšanai.

Izmantojot dinamiskās programmēšanas metodi, ticis atrisināts praktisks Latvijas loģistikas centra uzdevums, kas ietver lēmumu pieņemšanu, jaunas piegādes ķēdes un pārdošanas kanālu attīstībai, un ir atrasti optimāli peļņas rādītāji.

3. SECINĀJUMI

1. Darbs „Optimizācijas metožu un modeļu izstrādāšana loģistikas kompānijas veiksmīgai darbībai” ir veltīts tam, lai izveidotu un piemērotu jaunus optimizācijas modeļus, kas ļaus loģistikas uzņēmumiem veiksmīgi darboties pašreizējā, pasaules ekonomiskās krīzēs skartajā, tirgū. Tā kā trūkst praktisku metožu, ar kurām optimizēt Latvijas loģistikas centru izmaksas un darbību, šis darbs ir aktuāls un tam ir plašas izredzes gūt panākumus.
2. Ir apskatīti vairāki, ar pētāmo jautājumu saistīti, uzdevumi: pasaules ekonomiskās krīzes ietekme uz Latvijas transporta sistēmu un transporta sistēmas attīstības iespējas, spriedums par Latvijas loģistikas sistēmu un tās problēmām, galvenie stratēģiskie uzdevumi loģistikas centra veiksmīgai attīstībai.
3. Darbā izstrādāti trīs jaunas matemātiskās programmēšanas modeles, kas ļauj optimizēt loģistikas uzņēmumu darbu. Pirma ir apļveida piegādes maršrutu optimālās plānošanas modelis. Mūsu problēma ir daudz sarežģītā par klasiskā Hamiltona cikla problēmu, jo tā ietver daudzus ciklus, preču svaru un svara ierobežojumus katram ciklam.
4. Otrā ir hierarhiskās optimizācijas modelis resursu sadalei starp loģistikas centra vienībām. Izmantojot šo modeli, optimālā veidā tika atrisināta resursu sadales problēma starp loģistikas centra vienībām, centram ir kokveida uzbūve.
5. Trešā ir Loģistikas centra piegādes ķēdes optimizācijas modelis. Šis modelis piedāvā optimālu jaunu piegādes ķēžu un sadales kanālu izveidi, sniedzot iespēju risināt uzdevumus, kas saistīti ar Loģistikas centru piegādes ķēdes optimizācijas lēmumu pieņemšanu. Lai novērtēti, cik veiksmīgi ir pieņemtie lēmumi, par pamatu tika ņemti tādi kritēriji, kā maksimālā varbūtība, ka tiks sasniegts labākais rezultāts, un vidējās peļņas pieaugums.
6. Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem, tikušas sagatavotas arī vairākas vieslekcijas par tēmu „Transporta loma loģistikā” un „Praktiskais ERP pielietojums uzņēmumos”. Lekcijas paredzētas Rīgas Tehniskās universitātes Transporta un mašīnzinību fakultātes otrā kursa studentiem.
7. Ir svarīgi, lai visi pētījuma rezultāti tiktu izmantoti praktiskā veidā, uzlabojot vairāku uzņēmumu darbu un veicinot viņu attīstību. Pētījuma laikā visi statistikas dati tika iegūti no reāliem Latvijas uzņēmumiem. Reālu datu izmantošana pētījumā ļauj pārbaudīt un analizēt rezultātus praksē. Pētījumā piedalījās trīs dažādi uzņēmumi: SIA “66North Ice-Balt”, SIA “66North Delivery and Logistics” un SIA “EURECO”. Ieviešot loģistikas uzņēmumos jaunizveidotos modeļus, kas balstīti uz dinamiskās programmēšanas metodi, uzņēmumu finansiālie rādītāji būtiski pieauga.
8. Darba galvenie rezultāti ir tikuši publicēti 5 zinātniskos rakstos, prezentēti 11 starptautiskās zinātniskās konferencēs, kopā aizstāvot 6 referātus.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Andronovs A. Sarežģītu sistēmu vadības loģiskie pamati: Mācību līdzeklis. – RTU Izdevniecība, Rīga, 2006, - p.70.
2. Andronovs A., Zhukovska C. An Algorithm of Optimal Resources Assignment in Hierarchical Transport Systems. - RTU Zinātniskie Raksti, Mašīnzinātne un Transports, 16.Sējums. Izdevniecība “RTU”, Rīga. 2004. 7.–11. lpp.
3. Andronov A., Kashurin A. On a Problem of Spatial Arrangement of Service Stations // Computer Modeling and New Technologies – Riga: TSI, 2007,- Vol.11, No.1.- pp.31-37.
4. Baltic Business Directory LV2011. Baltic Export annual book – Latvijas Tālrūnis Ltd., 2011, 264 p.
5. Baudin M. Lean Logistics: The Nuts and Bolts of Delivering Materials and Goods Productivity Press. 2005. 387 pp.
6. Bellman R. E. Dynamic programming – Courier Dover Publications, 2003, – 340 p.
7. Bentley J.L. Writing Efficient Programs. – Prentice Hall, 1982. p. 11
8. Bertsekas D.P. Convex Analysis and Optimization. - Belmont, MA: Athena Scientific Press. 2003
9. Birla M. Fedex Delivers: How the World's Leading Shipping Company Keeps Innovating and Outperforming the Competition - John Wiley & Sons 2005 215 pp.
10. Bowersox D.J., Closs D.J. Logistical Management - McGraw-Hill Companies, 1996. 730 pp
11. Bramel J, Simchi-Levi D. The Logic of Logistics. Theory, Algorithms and Applications for Logistics Management. – Springer Series in Operation Research
12. Butner K. Reshaping Supply Chain Management; Vision And Reality. - John Wiley & Sons 2010.
13. Christofides N. Graph Theory. An Algorithmic Approach – Academic Press, New York-London-San Francisco, 1975.
14. Cristofides N., Mingozzi A., Toth P. Exact algorithms for the vehicle routing problem, based on spanning tree and shortest path relaxations. Mathematical Programming 20, 255-282 (1981)
15. Christopher M. Logistics and Supply Chain Management – London, 1992, - 230 p.
16. Dambītis J. Modernā grafu teorija – Rīga, Datorzinību Centrs, 2002.
17. Dantzig G., Ramser R. The truck dispatching problem. – Management Science 6, 1959, p 80-91
18. Deksnis G. Nelineārā programmēšana un lēmumu pieņemšana - http://fizmati.lv/faili/macibu_materiali/nelin.programmesana.pdf
19. Eko U. Kā uzrakstīt diplomdarbu. – Rīga: Jāņa Rozes apgāds, 2006. 319 lpp.
20. Fisher M. Optimal solution of vehicle routing problem using minimum k-trees.- Operations Research 42, 1994, p.626-642.
21. Fogarty D.W. Production and Inventory Management – South Western Educational Publishing. 1990

22. Frolova L. Optimizācijas teorija. - Rīga: Izglītības soļi, 2003,120 lpp.
23. Fukasawa R., Lysgaard J., Poggi de Aragao M., Reis M.,Uchoa E.,Werneck R.F. Robust Branch-and-Cut-and-Price for the Capacitated Vehicle Routing Problem – IPCO X the 10th International Conference on Integer Programming and Combinatorial Optimization, New York City, USA, June 7-11, 2004.
24. Gill P.E., Murray W., Wright M.H. Practical Optimization. - John Wiley&Sons; 2 edition, 2000.
25. Girvica O. Main Tasks for the Logistic Centre Successful Development // Proceedings of the 8th International Conference „Reliability and Statistics in Transportation and Communication. RelStat’2008”.October 15-18, 2008, Rīga, Latvija, 60-63 lpp.
26. Girvica O. Modern Strategies for the Costs Optimization of the Logistic Centre // “Mašīnzinātne un transports” RTU Zinātniskie raksti. 2010 ISSN 1407-8015, Rīga, 123.-128. lpp
27. Girvica O. Hierarchic Optimization of the Resources Allocation among the Units of the Logistic Centre // “Mašīnzinātne un transports” RTU Zinātniskie raksti. 2010 ISSN 1407-8015, Rīga, 106.-110. lpp
28. Girvica O. Optimization of the Supply Chain Process for the Logistic Centre // “Transport and Telecommunication” TSI journal, 2010, Vol.11, N2 ISSN 1407-6160 Riga pp.12-17.
29. Girvica O. New Supply Chain Creation for Logistic Centre Work Optimization // “Journal of Business Management” 2011, Nr 4, ISSN 1691-5348, Riga. pp.170 – 177.
30. Goldratt E.M. Critical Chain – North River Press. 1997. 246 pp.
31. Grīnglāzs L., Kopitovs J. Augstākā matemātika ekonomistiem – RSEEBA, Rīga, 2003, - 379 lpp.
32. Gudehus T. Kotzab H. Comprehensive Logistics - Springer 2009 pp.891
33. Harrison A., Remko van Hoek. Logistics Management And Strategy. Competing through the Supply Chain 3rd edition – FT Prestice Hall, 2008, - 316 p.
34. Hoekstra S., Romme J. Integral Logistic Structures: Developing Customer-Oriented Goods Flow – Industrial Press. 1992. 180 pp.
35. Jacoby J.E., Harrison S. Multi-variable experimentation and simulation models. - Naval Research Logistics, Volume 9, Issue 2, pages 121–136
36. Kashurin A. Problem of Optimal Spatial Arrangement of Service Stations// Third International Conference on Accelerated Life Testing, Reliability-based Analysis and Design – France, Clermont-Ferrand: Polytech Clermont-Ferrand, 2010, pp.249-254.
37. Kļaviņš D. Optimizācijas metodes ekonomikā. I, II. - Datorzinību Centrs, Rīga. 2000, 232lpp.
38. Kotler Philip. Marketing Management – Prentice Hall; 11th edition, 2002
39. Langevin A., Riopel D. Logistics Systems. Design and Optimization. – Gerad.Springer.

40. Levchenkov A., Kunicina N. Logistics Decisions Systems for Railways Intermodality Traffic Management // Proceedings of Nordic-Baltic Transport Research Conference 2000, Riga, 2000, - Vol.II
41. Macharis C., Melo S. City Distribution and Urban Freight Transport: Multiple Perspectives – Edward Elgar Publishing, 2011
42. Martinhon C., Lucena A., Maculan N. A relax and cut algorithm for the vehicle routing problem. - European J. of Operational Research 2003
43. Monthly Bulletin of Latvian Statistics 2008/11 // Central Statistical bureau of Latvia, Riga, 2008, - 110 p.
44. Newton R. The Project Manager (Mastering the art of delivery) – Pearson Education Limited 2005, - 269 p.
45. Ragsdale C. Spreadsheet Modeling & Decision Analysis: A Practical Introduction to Management Science – Thomson South-Western. 2006. 820 pp
46. Santalova D. Regression Model of Sales Volume from Wholesale Warehouse// Proceedings of the 13th International Conference on Analytical and Stochastic Modelling Techniques and Applications. – Bonn, 2006. – pp. 133 – 137.
47. Santalova D. Forecasting of Rail Freight Conveyances in EU Countries on the Base of the Single Index Model – Computer Modelling and New Technologies. – Riga: TSI, 2007. – Vol. 11, No. 1. – pp. 73-83.
48. Santalova D. Semi-parametric Regression Models for Analysis and Forecasting of Freight and Passenger Transportation Volumes. Doctoral thesis. // Riga, Riga Technical University, 2009. – p.162
49. Sekaran Una Research Methods For Business. A Skill Building Approach – John Wiley & Son, Inc. 4th edition, 2000
50. Silver E., Peterson R. Decision Systems For Inventory Management And Production Planning – Wiley & Sons 736 pp.
51. Sniedovich M. Dynamic Programming – Marchel Dekker, INC.New York, 1992, - 410 p.
52. Smirnova R., Iltiņš I., Iltiņa M. Skaitlisko metožu pielietojumi Mathcad vidē. Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga. 2003. – 93 lpp.
53. Tersine R.J. Principles of Inventory and Materials Management – Prentice Hall. 1993.
54. The Baltic Sea Communications Forums'99 – Ikgadeja Conferences informaciju gramata 147. lpp.
55. Tompkins J. A. The Warehouse Management Handbook - Tompkins Press 1998, 980 pp
56. Toth P., Vigo D. Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. – Discrete Applied Mathematics 123, 2002 p. 487-512
57. Toth P., Vigo D. The Vehicle Routing Problem. Monographs on Discrete Mathematics and Applications. – SIAM, Philadelphia 2002
58. Transbaltic Policy Report 2010 – Henell Grafisk Form, Helsingborg/Sweden 2010.
59. Transport in 2007 // Central Statistical bureau of Latvia, Riga, 2008, - 104 p.

60. Žukovska J. Pasažieru aviopārvadājumu plūsmu prognozēšana. Promocijas darbs. – Rīga: RTU, 2008 – p.177.
61. Yang X. Mathematical Optimization – From Linear Programming to Metaheuristics. – University of Cambridge, UK: Cambridge International Science Publishing, 2008. –p.161
62. Womack J.P. Daniel T. J. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation – Free Press, 2010 384 pp.
63. Womack J.P., Jones D.T., Roos D. Machine That Changed the World: The Story of Lean Production – Productivity Press. 1991. 336 pp.
64. Андронов А.М. Теория вероятностей. Методическое пособие. – Рига 2002, - 75 с.
65. Андронов А.М., Копытов Е.А., Гринглаз Л.Я. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для ВУЗов. – СПб, Питер, 2004. – 461 с.
66. Андронов А.М., Балашевич В.А. Экономико-математическое моделирование производственных систем – Minsk, 1995, - 240 с.
67. Бауэрсокс Д.Д., Клосс Д.Д. Логистика Интегрированная цепь поставок – ЗАО Олимп-Бизнес, Москва, 2001, 639 с.
68. Беллман Р., Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования – 1965, 457 р.
69. Бродецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в Логистике – Изд.центр Академия, Москва 2009. – 266 с.
70. Боди З, Мертон Р.К. Финансы – Изд.дом Вильямс, Москва, 2000.
71. Гаджинский А.М. Логистика 3-е издание – Москва, 2000, - 375 с.
72. Гурский Д.А. Вычисления в Mathcad – ООО Новое знание, Минск, 2003, - 813 с.
73. Ковалев А.М. Финансовый менеджмент – Москва ИНФРА-М 2002.
74. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход – Мир, Москва, 1978.
75. Левкин Г.Г. Логистика: теория и практика – Феникс Ростов-на-Дону, 2009, - 221 с.
76. Лукинский В.С. Модели и методы логистической теории. 2-е издание – Питер, 2008, - 447 с.
77. Машарский А. Финансовые риски – БКИ, Рига, 2005, - 100 с.
78. Неруш У.М. Логистика – Юнити-Дана, Москва, 2001, - 389 с.
79. Никифоров В.С. Мультимодальные перевозки и транспортная логистика – ТрансЛит, Москва, 2007, - 270 с.
80. Очков В. Mathcad 14 для студентов и инженеров – ВHV-Peterburg, 2009, - 512 с.
81. Ракитин В.И. Руководство по методам вычислений и приложения Mathcad – Физматлит, Москва, 2005, - 263 с.
82. Шапиро Д. Моделирование цепи поставок – Питер, 2006, - 713 с.
83. Шеремет А.Д., Сайфулин Р.С., Негашев Е.В. Методика финансового анализа – Москва ИНФРА-М 2002.
84. Latvijas Statistika. Kravu pārvadājumi dzelzceļa transportā. Internet: <http://www.csb.gov.lv/statistikas-temas/transports-galvenie-raditaji-30098.html>

85. Latvijas Statistika. Kravu pārvadājumi ar autotransportu. Internet:
<http://www.csb.gov.lv/statistikas-temas/transports-galvenie-raditaji-30098.html>
86. Latvijas Statistika. Ar jūras transportu nosūtītās, saņemtās kravas Latvijas ostās. Internet:
<http://www.csb.gov.lv/statistikas-temas/transports-galvenie-raditaji-30098.html>
87. Internet <http://www.ozols.lv>