

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Transporta un mašīnzinību fakultāte

Dzelzceļa transporta institūts

**Fjodors MIHAILOVS**

Doktora studiju programmas „Dzelzceļa transports” doktorants

**DZELZCEĻA PIEOSTAS STACIJAS UN OSTAS  
MIJIEDARBĪBAS VADĪŠANA PAMATOJOTIES UZ  
IMITĀCIJAS MODELĒŠANU**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskie vadītāji

Dr. sc. ing., asoc. profesors D. SERGEJEVS

Dr. sc. ing., profesors P. BALCKARS

**RTU Izdevniecība**

**Rīga 2012**

UDK 656.213+627.35 (043.2)

Mi 292 d

Mihailovs F. Dzelzceļa pieostas stacijas un ostas mijiedarbības vadīšana pamatojoties uz imitācijas modelēšanu. Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU Izdevniecība, 2012.-38 lpp.

Iespiests saskaņā ar „RTU P-20” promocijas padomes 2012. gada 20. jūnija lēmumu, protokols Nr. 03/2012



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.

**ISBN 978-9984-9990-2-9**

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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012. gada 27. decembrī plkst. 12:00 Rīgas Tehniskās universitātes Transportmašīnu tehnoloģiju institūtā, Rīga, Lomonosova ielā 1, V. korpusā, 218. auditorijā.

**OFICIĀLIE RECENZENTI**

Profesore, Dr.habil.sc. Gaļina Merkurjeva  
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Ramūnas Palšaitis  
Viļņas Gedimina Tehniskā universitāte, Lietuva

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Genadijs Groševs  
Sanktpēterburgas Valsts Ceļu Satiksmes universitāte, Krievija

**APSTIPRINĀJUMS**

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

Fjodors Mihailovs ..... (paraksts)

Datums: 27.11.2012.

Promocijas darbs sastāv no ievada, četrām nodaļām, secinājumiem, bibliogrāfiskā saraksta un pielikumiem. Promocijas darba apjoms – 126 lappuses, skaidrojošā teksta – 109 lappuses. Promocijas darbs satur 42 attēlus, 30 tabulas, kā arī 17 pielikumu lappuses. Bibliogrāfiskais saraksts sastāv no 185 nosaukumiem.

## ANOTĀCIJA

Promocijas darbu „DZELZCEĻA PIEOSTAS STACIJAS UN OSTAS MIJIEDARBĪBAS VADĪŠANA PAMATOJOTIES UZ IMITĀCIJAS MODELĒŠANU” izstrādājis Fjodors Mihailovs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Darba zinātniskie vadītāji ir Dr.sc.ing., asoc.profesors Dijs Sergejevs un Dr.sc.ing., asoc. profesors Pēteris Balckars.

Darba mērķis ir dzelzceļa pieostas stacijas un ostas mijiedarbības imitācijas modelēšanas metožu pielietošana vagonu dīkstāvju samazināšanai, dzelzceļa pieostas stacijas un ostas mijiedarbības modelēšanas metodikas izstrādāšana, lai uzlabotu ekspluatācijas darba rādītājus un nodrošinātu vagonplūsmu pārstrādes ritmiskumu.

Tika izveidota parametru sistēma vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai pieostas stacijā.

Tika noteikti ienākošo vilcienu plūsmu sadalījuma likumi un pārbaudīta to atbilstība teorētiskiem sadalījuma likumiem.

Autors izstrādāja algoritmu, lai noteiktu optimālu intervālu vilcienu pienākšanas laikam pieostas stacijā, pamatojoties uz multiagentu optimizāciju.

Pamatojoties uz pētījumu par dzelzceļa pieostas stacijas un ostas mijiedarbību ir izstrādāts imitācijas modelis vilcienu pienākšanas laika pieostas stacijā optimālo intervālu noteikšanai, lai veiktu mijiedarbības procesu modelēšanu transporta kompleksā „pieostas stacija - osta” ar materiālām plūsmām un kravu vienībām no ieejas sistēmā līdz izejai no tās.

Izstrādātais transporta kompleksā notiekošo kravu pārvadājumu procesu imitācijas modelis ļauj prognozēt transporta veidu mijiedarbības efektivitāti, pielietojot kvalitatīvos un kvantitatīvos rādītājus. Modeļi var viegli iestatīt saskaņā ar darba tehnoloģiju un konkrētā transporta kompleksa tehnisko attīstību.

Pētījumu rezultāti piedāvāti ieviešanai koncernā „Latvijas dzelzceļš” (LDZ) mijiedarbībā ar Latvijas Republikas (LR) ostām.

## SATURS

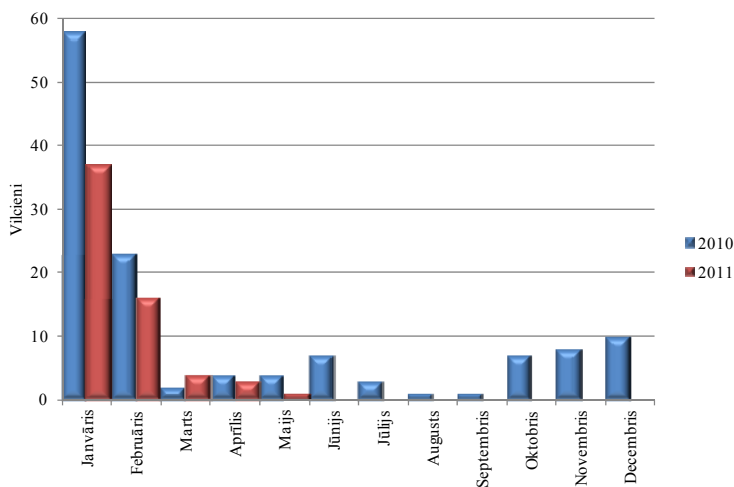
1. PROMOCIJAS DARBA AKTUALITĀTE .....	6
2. DARBA MĒRĶI UN UZDEVUMI .....	7
3. PĒTĪJUMA METODES .....	8
4. GALVENIE PĒTĪJUMU REZULTĀTI, IZVIRZĪTIE AIZSTĀVĒŠANAI .....	8
5. DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE.....	8
6. DARBA PRAKTISKAIS PIELIETOJUMS .....	9
7. DARBA APROBĀCIJA .....	9
8. DARBA STRUKTŪRA .....	11
8.1. Tēmas izpētes stāvoklis. Pētījuma uzdevuma uzstādīšana .....	11
8.2. Kravas vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšana .....	16
8.3. Transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” procesu imitācijas modelēšanas sistēma: izstrādāšana un analīze .....	23
8.4. Pētīšanas objekta imitācijas modeļa izstrādāšana.....	27
9. SLĒDZIENS.....	37

## 1. PROMOCIJAS DARBA AKTUALITĀTE

Mūsdienās LR transporta politika ir virzīta uz tranzītpārvadājumiem un ar to saistītiem pakalpojumiem, kā arī LDZ tranzīta koridoru attīstību kravu piesaistīšanai, kas palīdz palielināt kravu pārvadāšanas apjomus.

Neskatoties uz lielām transporta plūsmām, pastāv ievērojamas kravas vagonu dīkstāves (no daudzām diennaktīm līdz mēnesim), gaidot apstrādi ostās, termināļos un pievedceļos. Viens no šo dīkstāvju un „noliktavu uz asīm” izveidošanas galvenajiem cēloņiem, kas nes milzīgus zaudējumus LDZ un LR transporta nozarei kopumā laikā, kad ir specializēto kravas vagonu deficīts, ir saskaņotas vilcienu un kuģu pievadīšanas un apstrādāšanas tehnoloģijas trūkums.

Pēdējos gados Rīga-Krasta stacijas kravu pārstrādes spēja, apkalpojot Rīgas Brīvostas termināļus, esošās tehnoloģijas apstākļos praktiski ir pietuvojies funkcionālai robežai. Veiktā analīze norāda uz vairākiem sarežģījumiem veicot kravu pārstrādāšanu transporta kompleksā „pieostas stacija - osta”, īpaši ņemot vērā kravu apjoma pieauguma prognozes. Caurlaides un pārstrādes spējas deficīta, kā arī zināmu grūtību dēļ veicot kravu pārdevi no dzelzceļa transporta uz jūras transportu, kravas saņēmējs un LDZ dažkārt ir spiesti ieviest konvencijas aizliegumus kravu nosūtīšanai. Tas savukārt diskreditē LDZ kā uzticamu partneri kravu pārvadāšanas procesā.



1.att. Pamesto vilcienu daudzums st. Rīga-Krasta nozīmēšanai 2010.-2011. gadu periodā.

Piemēram, 2000. g. konvencijas aizliegumi darbojās 40 dienas, 2002. g. - 35 dienas, 2005. g. - 20 dienas. Papildus tam notiek vilcienu atstāšana atbildīgai glabāšanai, kas izraisa lielus zaudējumus LDZ, jo ritošais sastāvs tiek izmantots kā „noliktava uz asīm” uz stacijas ceļiem.

Efektīvas mijiedarbības trūkums dažkārt izraisa situāciju, kad LDZ stacijās, gaidot pārstrādi Rīgas, Ventspils un Liepājas ostās, atrodas ap 80 vilcieniem (1. att.).

Vagonu dīkstāvju samazināšanas nolūkos, īpaši aktuāla ir saskaņotas transporta darbības nodrošināšana kompleksā „pieostas stacija - osta”.

## 2. DARBA MĒRĶI UN UZDEVUMI

**Darba mērķis.** Promocijas darba mērķis ir dzelzceļa pieostas stacijas un ostas mijiedarbības analīze un imitācijas modelēšanas metožu pilnveidošana procesiem, kuri notiek transporta kompleksā „pieostas stacija – osta” vagonu dīkstāvju samazinājumam pieostas stacijās. Sakarā ar to, ka pastāv grūtības veicot pētījuma objekta analītisko priekšstatu, ir nepieciešams veikt pētījumus transporta kompleksa funkcionēšanas imitācijas modeļa izstrādāšanai. Tas ļaus veikt dažu transporta veidu mijiedarbības procesu novērtējumu laika periodos ar mainīgām materiālo vērtību plūsmām pieostas stacijas un ostas virzienos.

Šī mērķa sasniegšanai ir noteikti šādi **uzdevumi**:

1. Veikt kravu pārvadājumu, kā pētījuma objekta, identifikāciju, pielietojot ietekmes faktoru analīzi dzelzceļa pārvadājumu organizēšanā ostas virzienā.
2. Piedāvāt algoritmu, lai noteiktu optimālo intervālu vilcienu pienākšanas laikam pieostas stacijā, jo netiek plānota vilcienu pienākšana pēc saraksta.
3. Izveidot transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” funkcionēšanas modeli.
4. Veikt modeļa atbilstības vērtēšanu, kā arī pārbaudīt modelēšanas rezultātu precizitāti.
5. Formalizēt pieostas stacijas un ostas imitācijas modeli, pielietojot faktoros:
  - vilcienu saskaņota pievadīšana, izmantojot „stingro sarakstu”;
  - papildus lokomotīvu izmantošana vagonu padevei no stacijas ceļiem uz ostas pievedceļiem;
  - ostas funkcionēšana bez traucējumiem.
6. Veikt vagonu dīkstāvju samazināšanas iespēju analīzi, pielietojot pieostas stacijas un ostas mijiedarbības faktoros.

**Pētījuma objekts** promocijas darbā ir procesi sarežģītajos organizatoriski-tehnoloģiskajos objektos, kurus raksturo:

- nepietiekošs formulējums;

- saišu un attiecību sarežģīta struktūra;
- nezināmu un grūti uzskaitāmu faktoru esamība;
- daudzkritēriju funkcionēšana;
- sistēmā notiekošo procesu nestacionaritāte.

Par piemēriem augstāk minētajiem nosacījumiem var uzskatīt procesus, kuri norit transporta kompleksos, veicot kravu pārvadājumus, kā arī izejvielu piegādes procesus līdz saņēmējiem.

**Pētījuma priekšmets** - transporta kompleksā „pieostas stacija - osta” notiekošo procesu formalizācija un modelēšana.

### **3. PĒTĪJUMA METODES**

Noteikto uzdevumu risināšanai, kā arī pieostas stacijas un ostas mijiedarbības modelēšanai tika pielietotas sistēmanalīzes, varbūtības teorijas un matemātiskās statistikas, masu apkalpošanas teorijas (MAT), grafu teorijas, lēmumu pieņemšanas teorijas un imitācijas modelēšanas metodes.

#### **4. GALVENIE PĒTĪJUMU REZULTĀTI, IZVIRZĪTIE AIZSTĀVĒŠANAI**

1. Parametru sistēma vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai pieostas stacijai.
2. Algoritma veidošana vilcienu pienākšanas laika pieostas stacijā optimālo intervālu noteikšanai.
3. Transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” notiekošo procesu imitācijas modelis ar iespēju veikt vagonu dīkstāvju rādītāju prognozi un vērtējumu.

#### **5. DARBA ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE**

1. Izveidota parametru sistēma algoritmam vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai pieostas stacijai, kura balstās uz transporta pakalpojumu tirgus elementu rādītājiem.
2. Noteikti transporta kompleksā ienākošo plūsmu sadalījuma likumi un pārbaudīta to atbilstība teorētiskajiem sadalījuma likumiem.
3. Formalizēts vilcienu pievadīšanas pieostas stacijā optimālās vadības formālais modelis, kurš izveidots kā nozīmēšanas kvadrātiskais uzdevums un kurš ļauj veikt vilcienu pievadīšanu transporta kompleksam atbilstoši situācijai, ievērojot sastādīto parametru sistēmu.

4. Izveidots algoritms vilcienu pienākšanas laika pieostas stacijā optimālo intervālu noteikšanai pamatojoties uz multiāģentu optimizācijas metodes, un ar kura palīdzību persona, pieņemot lēmumu, reālā laikā režīmā var veikt alternatīvu vērtējumu un pieņemt pareizu lēmumu.
5. Izstrādāts transporta kompleksā notiekošo kravu pārvadājumu procesu imitācijas modelis, lai prognozētu transporta veidu mijiedarbības efektivitāti, pielietojot kvalitatīvos un kvantitatīvos rādītājus. Modeļi var viegli iestatīt saskaņā ar darba tehnoloģiju un konkrētā transporta kompleksa tehnisko attīstību, tas ir viegli saprotams, atvieglo komunikācijas procesu starp modeļa izstrādātājiem, ekspertiem un personām, kuri pieņem lēmumus.

## **6. DARBA PRAKTISKAIS PIELIETOJUMS**

Ir izstrādātas rekomendācijas vagonu dīkstāvju samazināšanai un kravu pārstrādes paātrināšanai, veicot kravu pārvadājumus transporta kompleksā „pieostas stacija - osta”.

Ir izstrādāts un formalizēts imitācijas modelis, pielietojot multiāģentu optimizācijas algoritmu vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai pieostas stacijai. Piedāvātā metode ļauj prognozēt un veikt kravu pārvadājumu procesu efektīvu vadīšanu.

## **7. DARBA APROBĀCIJA**

Par darba rezultātiem ir ziņots, un tie ir apspriesti:

Latvijā:

1. RTU 46. starptautiskā zinātniskā konference. Rīga, Latvija 13.-15.10.2005.
2. 8. starptautiskā konference „ŪDENS TRANSPORTS UN INFRASTRUKTŪRA 2006”, Latvijas Jūras akadēmija, Rīga, 20.04.2006.
3. RTU 47. starptautiskā zinātniskā konference. Rīga, Latvija 12.-14.10.2006.
4. 9. starptautiskā konference “ŪDENS TRANSPORTS UN INFRASTRUKTŪRA 2007”, Latvijas Jūras akadēmija, Rīga, 19-20.04.2007.
5. RTU 48. starptautiskā zinātniskā konference. Rīga, Latvija 11.-13.10.2007.
6. 10. starptautiskā konference “ŪDENS TRANSPORTS UN INFRASTRUKTŪRA 2008”, Latvijas Jūras akadēmija, Rīga, 24-25.04.2008.
7. RTU 49. starptautiskā zinātniskā konference. Rīga, Latvija 13.-15.10.2008.
8. Starptautiskā zinātniski pētnieciskā konference „Latvijas dzelzceļi: pagātne, tagadne, nākotne”. Rīga. 26.-27.03.2009.
9. 11. starptautiskā konference “ŪDENS TRANSPORTS UN INFRASTRUKTŪRA 2009”, Latvijas Jūras akadēmija, Rīga, 23-24.04.2009.

10. RTU 50. starptautiskā zinātniskā konference. Rīga, Latvija 12.-16.10.2009.
11. 12. starptautiskā konference “ŪDENS TRANSPORTS UN INFRASTRUKTŪRA 2010”, Latvijas Jūras akadēmija, Rīga, 29-30.04.2010.
12. RTU 51. starptautiskā zinātniskā konference. Rīga, Latvija 11.-15.10.2010.
13. 13. starptautiskā konference “ŪDENS TRANSPORTS UN INFRASTRUKTŪRA 2011”, Latvijas Jūras akadēmija, Rīga, 28-29.04.2011
14. RTU 52. starptautiskā zinātniskā konference. Rīga, Latvija 11.-15.10.2011.
15. 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. 11.-12.10.2012.

Ārvalstīs:

1. 8. Viļņas jauno zinātnieku konference „Lietuva bez zinātnes – Lietuva bez nākotnes”. Viļņas Gedemina Tehniskā universitāte. 12.05.2005.
2. 9. Viļņas jauno zinātnieku konference „Lietuva bez zinātnes – Lietuva bez nākotnes”, Viļņas Gedemina Tehniskā universitāte. 25.05.2006.
3. 10. Viļņas jauno zinātnieku konference „Lietuva bez zinātnes – Lietuva bez nākotnes”, Viļņas Gedemina Tehniskā universitāte. 03.05.2007.
4. 11. Viļņas jauno zinātnieku konference „Lietuva bez zinātnes – Lietuva bez nākotnes”, Viļņas Gedemina Tehniskā universitāte. 15.05.2008.
5. 12. Viļņas jauno zinātnieku konference „Lietuva bez zinātnes – Lietuva bez nākotnes”, Viļņas Gedemina Tehniskā universitāte. 14.05.2009.
6. 13. Viļņas jauno zinātnieku konference „Lietuva bez zinātnes – Lietuva bez nākotnes”, Viļņas Gedemina Tehniskā universitāte. 06.05.2010.
7. 15. Viļņas jauno zinātnieku konference „Lietuva bez zinātnes – Lietuva bez nākotnes”, Viļņas Gedemina Tehniskā universitāte. 04.05.2012.

### **Publikācijas**

Pamattēzes, secinājumi un rekomendācijas ir atspoguļotas šādās zinātniskajās publikācijās:

1. 8. Viļņas jauno zinātnieku konference „Lietuva bez zinātnes – Lietuva bez nākotnes”. Viļņas Gedemina Tehniskā universitāte. 12.05.2005. 254.-260., 289.-294. lpp.
2. 8. starptautiskā konference „ŪDENS TRANSPORTS UN INFRASTRUKTŪRA 2006”, Latvijas Jūras akadēmija, Rīga, 20.04.2006. 210. lpp.

3. 9. Viļņas jauno zinātnieku konference „Lietuva bez zinātnes – Lietuva bez nākotnes”, Viļņas Gedemina Tehniskā universitāte. 25.05.2006. 357.-361. lpp.
4. 9. starptautiskā konference “ŪDENS TRANSPORTS UN INFRASTRUKTŪRA 2007”, Latvijas Jūras akadēmija, Rīga, 19-20.04.2007. 38.-45. lpp.
5. 10. Viļņas jauno zinātnieku konference „Lietuva bez zinātnes – Lietuva bez nākotnes”, Viļņas Gedemina Tehniskā universitāte. 03.05.2007. 544.-551. lpp.
6. 10. starptautiskā konference “ŪDENS TRANSPORTS UN INFRASTRUKTŪRA 2008”, Latvijas Jūras akadēmija, Rīga, 24-25.04.2008. 82.-88. lpp.
7. Starptautiskā zinātniski pētnieciskā konference „Latvijas dzelzceļi: pagātne, tagadne, nākotne”. Rīga. 26.-27.03.2009. 91.-97. lpp.
8. 11. starptautiskā konference “ŪDENS TRANSPORTS UN INFRASTRUKTŪRA 2009”, Latvijas Jūras akadēmija, Rīga, 23-24.04.2009. 55.-60. lpp.
9. 12. starptautiskā konference “ŪDENS TRANSPORTS UN INFRASTRUKTŪRA 2010”, Latvijas Jūras akadēmija, Rīga, 29-30.04.2010. 106.-111. lpp.
10. 13. starptautiskā konference “ŪDENS TRANSPORTS UN INFRASTRUKTŪRA 2011”, Latvijas Jūras akadēmija, Rīga, 28-29.04.2011. 45.-50. lpp.
11. 15. Viļņas jauno zinātnieku konference „Lietuva bez zinātnes – Lietuva bez nākotnes”, Viļņas Gedemina Tehniskā universitāte. 04.05.2012. 362.-365. lpp.
12. 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. 11.-12.10.2012. 610. lpp.

## **8. DARBA STRUKTŪRA**

Promocijas darbs sastāv no ievada, četrām nodaļām, secinājumiem, bibliogrāfiskā saraksta un pielikumiem.

**Ievads** satur promocijas darba aktualitāti, izstrādes stadiju, mērķus un uzdevumus, pētījuma priekšmetu, galvenos rezultātus, zinātnisko jauninājumu un praktisko nozīmīgumu.

### **8.1. Tēmas izpētes stāvoklis. Pētījuma uzdevuma uzstādīšana**

**Pirmajā nodaļā** ir sniegts pētījuma objekta raksturojums un aprakstītas informatīvās sistēmas, kas izveidotas dzelzceļa un jūras transporta vajadzībām, un kuras attiecināmas pie informatīvi-uzziņu sistēmām detalizētas informācijas sniegšanai par kravu dislokāciju, nomenklatūru, nosūtītāju, saņēmēju un subjektiem, kuri nodarbojas ar pārvaldājumiem.

Ir veikta kravu pārvadājumu organizēšanas problēmu cēloņu-seku analīze, kurā ir norādīti faktori un iemesli, kas radušies izpildīšanas procesā.

Veikta kravu pārvadājumus procesu modelēšanas un transporta uzdevumu optimizācijas metožu analīze.

Kravu pārvadājumu efektivitātes vadīšanai ir nepieciešama sistemātiska, kompleksa pieeja ar loģistikas paņēmieniem, par pamatu ņemot nepārtrauktu transporta formu, izejvielu sadalījuma un realizācijas attīstību.

Veiktā analīze norāda uz vairākiem sarežģījumiem, veicot kravu pārstrādāšanu transporta kompleksā „pieostas stacija - osta”, īpaši ņemot vērā kravu apjomu pieauguma prognozes. Caurlaides un pārstrādes spējas deficīta apstākļos, kā arī zināmu grūtību dēļ, veicot kravu pārkraušanu no dzelzceļa transporta uz jūras transportu, kravas saņēmējs un LDZ dažkārt ir spiesti ieviest konvencijas aizliegumus kravu nosūtīšanai. Tas, savukārt, diskreditē LDZ kā uzticamu partneri kravu pārvadāšanas procesā.

Efektīvas mijiedarbības trūkums dažreiz izraisa situāciju, kad LDZ stacijās atrodas ap 80 vilcienu, kas gaida kravu apstrādi Rīgas, Ventspils un Liepājas ostās.

Šādos apstākļos dažu transporta veidu saskaņotas mijiedarbības uzdevums transporta kompleksos ir īpaši aktuāls. Pašlaik netiek piedāvātas efektīvas metodes šī uzdevuma risināšanai, kas, savukārt, izraisa ekonomiskos zaudējumus.

Kravu pārvadājumu kvalitāte tiek nodrošināta šādos posmos:

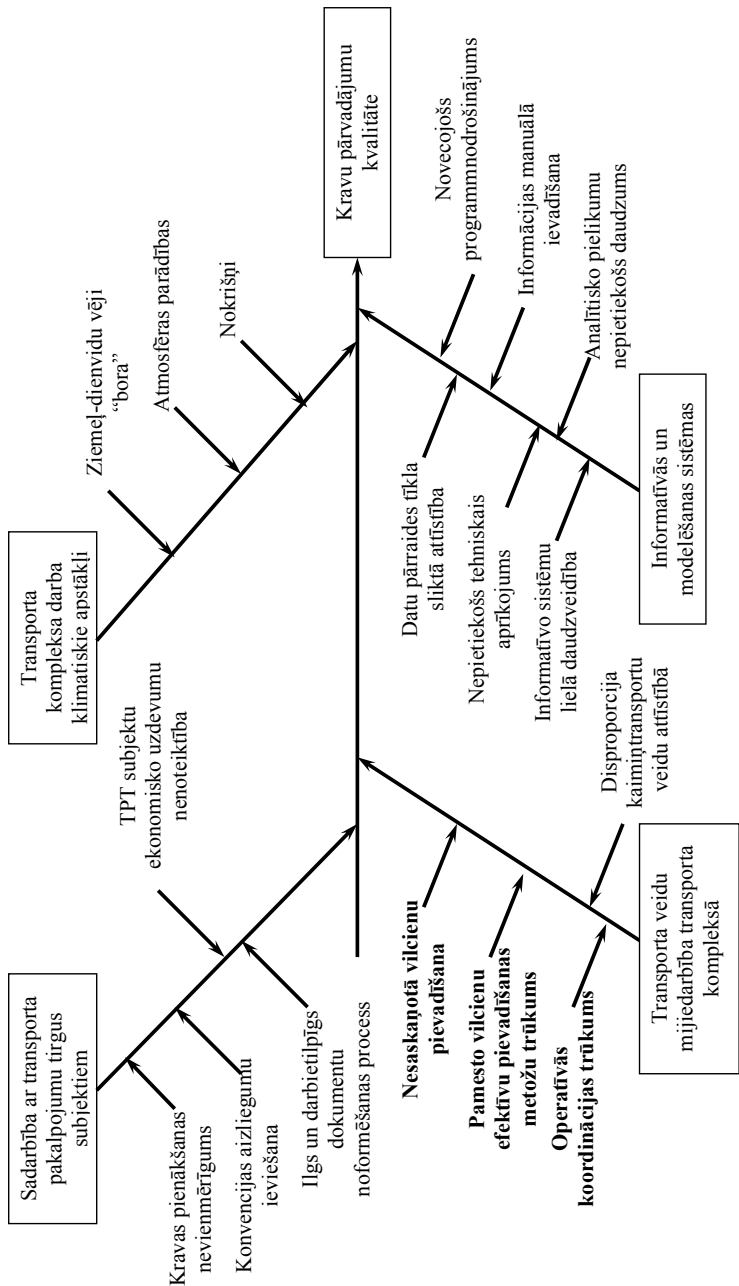
- pārvadāšanas procesā;
- nosūtīšanas stacijā un galastacijā;
- transporta kompleksos, kur notiek kravu pārkraušana.

Kravu pārvadājumu kvalitāte ir atkarīga no vairākiem faktoriem, kas rodas pārvadājumu procesā.

Primārie faktori, kuri ietekmē kravu pārvadājumu organizēšanu ir:

- transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” informatīvās struktūras attīstība;
- visu pārvadāšanas procesā iesaistīto transporta veidu mijiedarbība un koordinēšana;
- transporta darbinieku mijiedarbības efektivitāte ar citiem TPT subjektiem;
- transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” darbības klimatiskie apstākļi.

Faktori, kuri ietekmē dzelzceļa pieostas stacijas un ostas mijiedarbību, ir parādīti diagrammā 1.1. attēlā.



I.1. att. Dzelzceļa pieostas stacijas un ostas mijiedarbības ietekmējošo faktoru diagramma

Dzelzceļa pieostas stacijas un ostas mijiedarbības faktoru analīze norāda:

- no četriem pamata faktoriem, kuri ietekmē kravu pārvadājumu kvalitāti, faktors “darbs ar transporta pakalpojumu tirgus subjektiem” iziet ārpus darba priekšmeta loka robežām;
- faktors „transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” darba klimatiskie apstākļi” ir ārējs attiecībā pret sistēmu un praktiski nav vadāms, bet tas jāņem vērā, izstrādājot vadības iedarbības;
- promocijas darbam ir aktuāla tādu faktoru ietekme, kā „transporta veidu mijiedarbība transporta kompleksā „pieostas stacija - osta” un “informatīvās un modelēšanas sistēmas”, kas var būtiski ietekmēt kravu pārvadājumu kvalitātes rādītājus.

Zinātnieki un praktiķi piedalījās uzdevumu risināšanā, kas saistīti ar transporta kompleksu funkcionēšanu, transporta veidu mijiedarbību, pārvadājumu procesa informatīvo nodrošinājumu un kravu pārvadājumu komplekso vadīšanu.

Izskatītos pamatpaņēmienu, kas lietojami dažādu transporta veidu mijiedarbības modeļu izveidošanā, var klasificēt šādi :

- analītiskie modeļi;
- masu apkalpošanas teorijas (MAT) modeļi;
- imitācijas modeļi.

Analītisko metožu pielietošanā, veicot modeļa izstrādi, ir virkne grūtību. Pirmkārt, modelim ir adekvāti jāatspoguļo objektu mijiedarbība. Otrkārt, pastāv grūtības iegūtās vienādojumu sistēmas risināšanā. Vienādojumu sistēma sastāv no vairākiem vienādojumiem ar daudziem mainīgiem lielumiem un to var risināt tikai, pielietojot ESM. Analītiskā metode ir piemērota tādiem gadījumiem, kad nepieciešams iegūt pētāmo procesu kvalitatīvas raksturlīknes un adekvātu modeli.

Ar MAT izveidotie modeļi ir ierobežoti ar to, ka pieteikumu plūsmām ir jāpakļaujas kādam no teorētiskā sadalījuma likumiem. Operatīvā stāvokļa novērtēšanai modelis nevar nodrošināt pietiekamu ticamības pakāpi. MAT modeļi netiek pielietoti objektu vadības reālo modeļu izveidošanai, bet pamatojoties uz tiem var izveidot pētāmo sistēmu imitāciju modeļus.

Imitāciju modeļu konstruēšanā nepieciešams sastādīt aprakstus par sistēmas visiem iespējamajiem stāvokļiem. Notikumi tiek veidoti stohastiski, nosakot iepriekš dažus iespējamus parametrus. Imitācijas modelēšana ļauj veikt analizējamās vai projektējamās sistēmas pētījumu, izmantojot operāciju pētījuma shēmu, kura satur savstarpēji saistītus posmus:

- uzdevuma saturīga nostādne;

- konceptuālā modeļa izstrādāšana;
- imitācijas modeļa izstrādāšana un realizēšana programmēšanas vidē;
- modeļa atbilstības, ticamības pārbaude un modelēšanas rezultātu precizitātes novērtējums;
- eksperimentu plānošana un veikšana;
- lēmumu pieņemšana.

Tas viss ļauj pielietot imitācijas modelēšanu kā universālu pieeju lēmumu pieņemšanai nenoteiktības apstākļos, ņemot vērā grūti formalizējamus faktorus, kā arī ļauj pielietot sistēmiskās pieejas pamatprincipus praktisko uzdevumu risināšanai.

Augstāk izklāstītajos darbos zinātnieki izstrādāja metodes dažu transporta veidu mijiedarbības uzdevumu risināšanai, neņemot vērā to mijiedarbību, kā arī nesaistot kravas un transporta plūsmas kopā ar informatīvo un finanšu plūsmām.

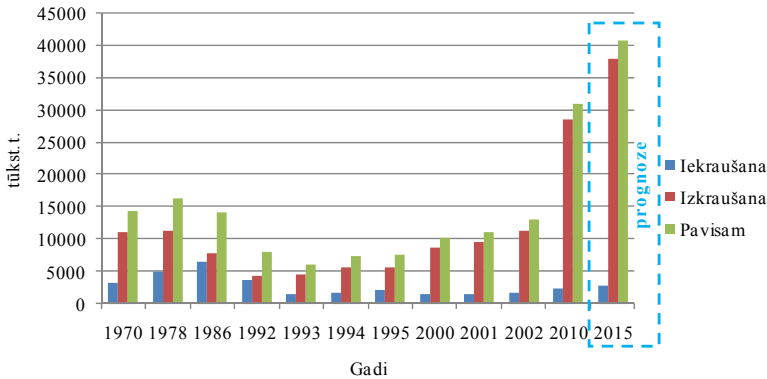
Pieostas stacijas un ostas mijiedarbības procesu modelēšanas metožu analīze prasa imitācijas modeļa izstrādi, kur ir iekļauta izejošā plūsma no pieostas stacijas un ienākošā plūsma uz ostas termināļiem un atpakaļ, veicot pārvadājumus virzienā „pieostas stacija–osta–pieosta stacija”.

Veiktā faktoru analīze rāda, ka ir nepieciešams:

1. Izveidot parametru sistēmas algoritma sastādīšanai vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai pieostas stacijai lai nepieļautu vilcienu „sastrēgumu” stacijā.
2. Sastādīt algoritmu vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai pieostas stacijā.
3. Programmkompleksa izstrādāšana vilcienu apstrādei kompleksā „pieostas stacija–osta–pieostas stacija”.

Noteikts kravu pārvadājumu sistēmas kopējais raksturojums, kas atšķiras ar lielu kravu pienākšanas nevienmērīguma pakāpi. Tika fiksētas arī elementu īpašības: funkcionēšanas nestacionaritāte, ar daudziem parametriem, ar vāju formalizētu aprakstu, ar nenoteiktību. Kravas plūsmu, kuras pārvadā pa LDZ pieostas staciju virzienā, veiktā analīze norāda uz pienākošo kravu apjomu zināmu pieaugumu (1.2. att.).

Pārstrādāto kravu apjoms 2015. gadam ir iegūts, ņemot vērā Rīgas Brīvdostas infrastruktūras rekonstrukciju un sastāda 41 milj. tonnu, kas par 32 % vairāk nekā 2010. gadā apjoms, vienāds ar 31 milj. tonnu.



1.2. att. Rīgas Brīvostā pārstrādāto kravu apjomi pēdējos gados (tūkst. t.)

Veiktā analīze liecina, ka pieostas stacijas un ostas efektīvas mijiedarbības uzdevuma atrisināšana ļaus paaugstināt kravu pārstrādes procesu efektivitāti, ņemot vērā tehnoloģisko operāciju līdzību, pienākošo vilcienu daudzumu, ostas pievedceļu aizņemtību un ostas termināļu pārkraušanas mehānismu izmantošanu. Turpmāk, pielietojot transporta kompleksa izstrādāto imitācijas modeli, ir iespējams iegūt vadīšanas objekta prognozējamo stāvokli mainoties ienākošajām plūsmām, kā arī noteikt pieostas stacijas resursu izmantošanas efektivitāti.

## 8.2. Kravas vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšana

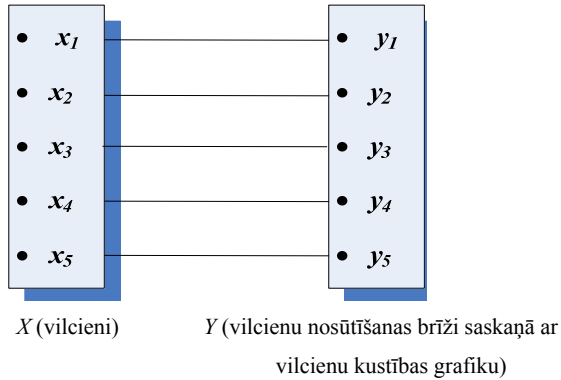
**Otrajā nodaļā** izstrādāta optimizācijas uzdevuma formālā nostādne vilcienu pievadīšanai pieostas stacijām, kas prasa dzelzceļa pieostas stacijas un ostas mijiedarbības noteicošo parametru  $J_i (i = \overline{1...n})$  kopas izvēli.

Lai  $X$  – alternatīvu daudzums (vilcienu),  $Y$  – iespējamo iznākumu daudzums (vilcienu nosūtīšanas momenti saskaņā ar vilcienu kustības grafiku). Tiek piedāvāta cēloniskās saites eksistence starp kādu alternatīvu (vilcienu) no kopas  $x_i \in X$  un vispiemērotāko iznākumu (vilcienu nosūtīšanas momentu saskaņā ar vilcienu kustības grafiku) no kopas  $y_i \in Y$ . Ir paredzēta kvalitātes vērtēšanas mehānisma esamība, par kuru bieži kalpo iznākuma kvalitāte.

Tālāk ir lietderīgi noteikt saišu raksturu starp alternatīvām un iznākumiem. Saite var būt determinēta, tad šajā gadījumā eksistē viennozīmīgs attēlošana:

$$x \xrightarrow{\varphi} Y, \quad (2.1)$$

ar citiem vārdiem, tiek realizēta funkcija  $y = \varphi(x), x \in X, y \in Y$  (2.1. att.)

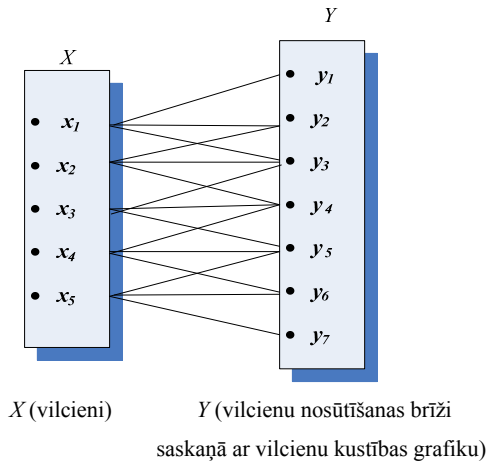


2.1. att. Determinētā saite starp alternatīvām ar iznākumiem

Saite var būt ar varbūtības raksturu, ja izvēle  $x$  (vilciens) nosaka varbūtību sadalījuma blīvumu daudzumam  $Y$  (vilcienu nosūtīšanas brīži saskaņā ar vilcienu kustības grafiku). Šajā gadījumā vilciena izvēle  $x_i$  jau negarantē noteiktās gaitas līnijas  $y_i$  izvēli, bet pašu lēmumu pieņemšanas (LP) uzdevumu sauc par LP uzdevumu riska apstākļos. Grafs 2.2. attēlā, ir suspendēts, proti, katra grafa šķautne raksturojas ar varbūtības vērtību  $P_{ij}$ , - gaitas līnijas  $y_i$  izmantošanas varbūtība  $x_i$  vilcienam.

Tad acīmredzami:

$$\sum_j P_{ij} = 1 \tag{2.2}$$



2.2. att. Varbūtējā saite starp vilcieniem un gaitas līnijām

Par uzdevumu kravas vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai izskatīts vilcienu kustības grafika gaitas līniju optimāls sadalījums starp vilcieniem, kuru nosūta no šķirošanas stacijas pieostas stacijas virzienā.

Noteikti kravas vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanas pamatparametri:

1. Vagonu dīkstāve pieostas stacijā, veicot tehnoloģiskās operācijas un gaidot padevi uz ostu.
2. Visu ostas termināļu noslogotība.
3. Vagonu izkraušanas laiks plānošanas periodā.
4. Vagonu plūsmu pārstrādes apjoms plānojamā periodā.
5. Pamesto vilcienu daudzums pieostas stacijas virzienā.

Vilcienu pienākšana dzelzceļa pieostas stacijā ir stingri reglamentēta ar vilcienu kustības grafiku. Vilcienu kustības grafiks nosaka iespējamus vilcienu pienākšanas brīžus  $t_i$  pieostas stacijā diennakts laikā. Par  $m_i$  apzīmē vilcienu sastāvu daudzumu, starp kuriem ir jāsadala grafika gaitas līnijas.

Laika periodi, kuri atbilst vilcienu kustības grafika gaitas līnijām, pienākot vilcienam pieostas stacijā, ir  $t_i (i = \overline{1..n})$ . Tad matricas  $D$  ar izmēriem  $n \times n$  elements  $d_{ij} (i = \overline{1..n}, j = \overline{1..n}), d_{ij} \in Q^+$  raksturo laika intervālus starp  $i$ -to un  $j$ -to vilcienu kustības grafika gaitas līnijām  $d_{ij} = t_i - t_j, t_i > t_j, i \neq j$ .

Tad *pievilšanas* matrica pieņem šādu veidu:

$$F = \{f_{hk} (h = \overline{1..m}, k = \overline{1..m})\}, f_{hk} \in Q^+ \quad (2.3)$$

Matrica raksturo vilcienu sastāvu pievilšanu vienu pie otra, kad tie pienāk pieostas stacijā. Ja ir divi sastāvi ar akmeņogļu kravu un viens sastāvs ar konteineriem, tad starp sastāvu ar akmeņogļu kravu un sastāvu ar konteineriem *pievilšanas pakāpe* ir augstāka nekā starp diviem sastāviem ar akmeņogļu kravu. Situāciju var skaidrot ar to, ka osta ir spējīga pieņemt noteiktas nomenklatūras kravas daudzumu noteiktā laika periodā. Tātad vilcienu pienākšanas laika intervāliem ar viena veida kravas nomenklatūru jābūt lielākiem par vilcienu pienākšanas laika intervāliem ar dažādām kravu nomenklatūrām. Rezultātā tiks nodrošināta ostas elementu un pieostas stacijas resursu vienmērīgākā noslodze.

*Pievilšanas pakāpes* koeficients  $h$ -tam sastāvam un  $k$ -tam sastāvam ir sarežģīta funkcija, kura atkarīga no daudziem ostas un stacijas parametriem:

$$f_{hk} = \text{function}(PSt, TO_h, TO_k, TP_h, TP_k, ZP_h, ZP_k), \quad (2.4)$$

kur:  $PSt$  – pieostas stacijas ceļu attīstība;

$TO_h$  – tehnoloģiskās operācijas pieostas stacijā ar  $h$ -to sastāvu;

$TO_k$  – tehnoloģiskās operācijas pieostas stacijā ar  $k$ -to sastāvu;

$TP_h$  –  $h$ -tā sastāva pārkraušanas laiks;

$TP_k$  –  $k$ -tā sastāva pārkraušanas laiks;

$ZP_h$  – ostas rajona noslodzes koeficients, kur pārstrādā  $h$ -tās nomenklatūras kravu;

$ZP_k$  – ostas rajona noslodzes koeficients, kur pārstrādā  $k$ -tās nomenklatūras kravu.

Pievilkšanas koeficienta aprēķināšanas metodika ir atkarīga no transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” tehniskajiem parametriem, no specializēto parku un šķirošanas ierīču esības, to ražīguma, ostas rajonu un pieostas stacijas termināļu daudzuma.

*Pievilkšanas pakāpes* koeficients transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” ostas termināļiem:

$$f_{hk} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4, \quad (2.5)$$

kur:  $k_1$  – koeficients, kurš nosaka tehnoloģisko operāciju līdzību. Atkarīgs no kravas nomenklatūras un stacijas tīkla iekšējās aizņēmēšanas;

$k_1 = 1$ , ja diviem sastāviem ir viens norīkojums;

$k_1 = 2$ , ja diviem sastāviem ir dažādi norīkojumi ;

$k_2$  - koeficients, kurš nosaka vagonu skaitu vilcienā;

$k_2 = 1$ , ja  $N_{vag} > 57$ ;

$k_2 = 2$ , ja  $20 < N_{vag} \leq 57$ ;

$k_2 = 3$ , ja  $20 \leq N_{vag}$ ;

$k_3$  – koeficients, kurš raksturo ostas pievedceļu aizņemību un izkraušanu vienā ostas rajonā;

$k_3 = 1$ , ja divi sastāvi tiek nozīmēti vienam terminālim;

$k_3 = 2$ , ja divi sastāvi tiek nozīmēti dažādiem termināļiem;

$k_4$  – koeficients, kurš ievēro pietātņu ierīču pārkraušanas jaudas vienlaicīgu izmantošanu;

$k_4 = 1$ , ja divi sastāvi tiek pārkrauti uz vienu kuģi;

$k_4 = 2$ , ja divi sastāvi tiek pārkrauti dažādos kuģos.

Pievilkšanas koeficients var pieņemt vērtību:  $1 \leq f_{hk} \leq 24$ . Vislabākā vērtība – 24, jo šajā gadījumā ir vislielākā atšķirība starp pienākušajiem vilcieniem, un attiecīgi – vislielākais pievilkšanas koeficients.

Matrica  $C = \{c_{ih} (i = \overline{1...n}, h = \overline{1...m})\}$  nosaka norīkojuma vērtību vilcienu kustības grafika  $i$ -tas gaitas līnijas  $h$ -tam sastāvam. Šis lielums nosaka pievadīšanas nesaskaņotības

laika intervālu starp ostas dispečera pieteikumu un starp faktiski iespējamo vilciena pienākšanas laiku atbilstoši vilcienu kustības grafikam:

$$C_{ih} = |gdp_i - tdp_h|, \quad (2.6)$$

kur:  $gdp_i$  – vilciena pienākšanas laiks stacijā saskaņā ar vilcienu kustības grafika  $i$ -to gaitas līniju;

$tdp_h$  –  $h$ -tā vilciena pienākšanas laiks pieostas stacijā saskaņā ar ostas dispečera pieteikumu.

Pārlikšanas funkcija  $\Pi \rightarrow \pi(i)$  ir vilcienu kustības grafika gaitas līnijas  $i$  ( $i = \overline{1..n}$ ) atsevišķa nozīmēšana sastāvam  $j = \pi(i)$ .

Lai noteiktu gaitas līniju optimālo sadalījumu starp vilcieniem, nepieciešams noteikt tādu  $\Pi$  pārlikšanu visiem indeksiem ( $i = \overline{1..n}$ ), kura minimizēs funkciju:

$$\min z = \sum_{i,h=1}^n d_{ih} f_{\pi(i)\pi(h)} + \sum_{i=1}^n c_{i\pi(i)}, \quad (2.7)$$

Vienādojumu sistēma (2.3-2.6) veido matemātisko modeli, kas savukārt raksturo kravas vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanu pieostas stacijai.

Šī uzdevuma nostādni var attiecināt pie norīkošanas kvadrātiskā uzdevuma un tas pieskaitāms pie kombinatorās optimizācijas sarežģītājiem uzdevumiem. Ar nolūku noteikt mērķa funkcijas kvadrātisko dabu, uzdevums ir formulēts šādi: ir nepieciešams noteikt pārlikšanas matricu  $X$  ar izmēriem  $n \times n$ , kuras elementi apmierina:

$$z_{QAP} = \min z = \sum_{i,j=1}^n \sum_{h,k=1}^n d_{ih} f_{jk} x_{ij} x_{hk} + \sum_{i,j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (2.8)$$

kur:  $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jā gaitas līnija tika nozīmēta sastāvam } j, \\ 0, & \text{pretējā gadījumā.} \end{cases} \quad (2.9)$

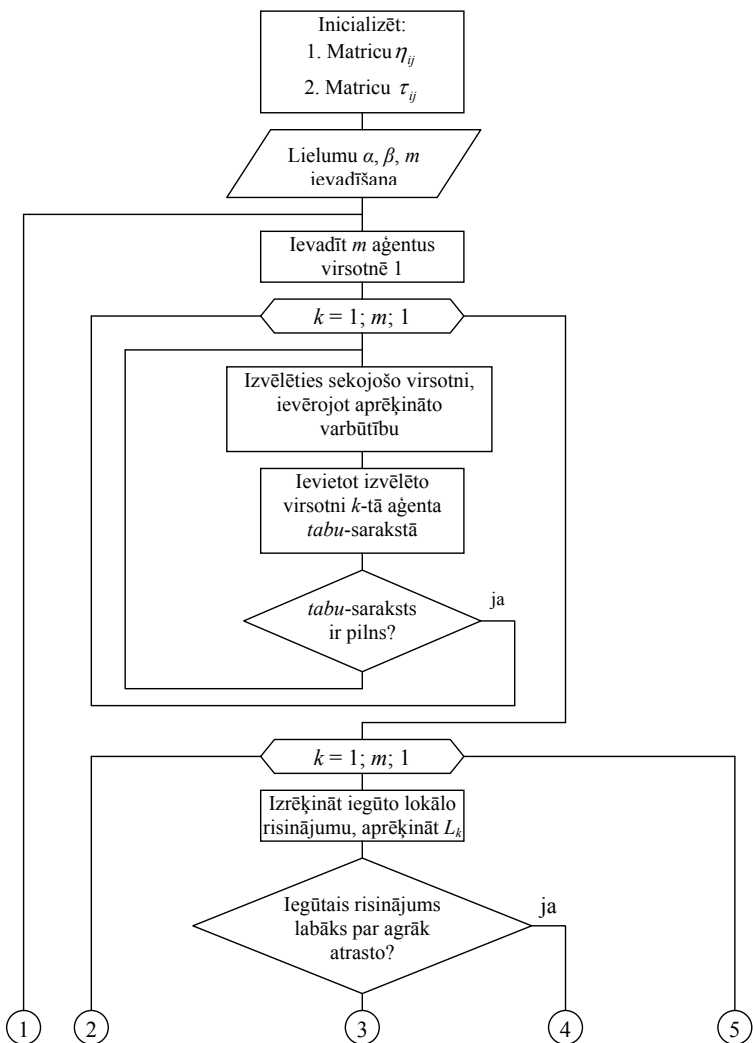
ar šādiem ierobežojumiem:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad (i = \overline{1..n}), \quad (2.10)$$

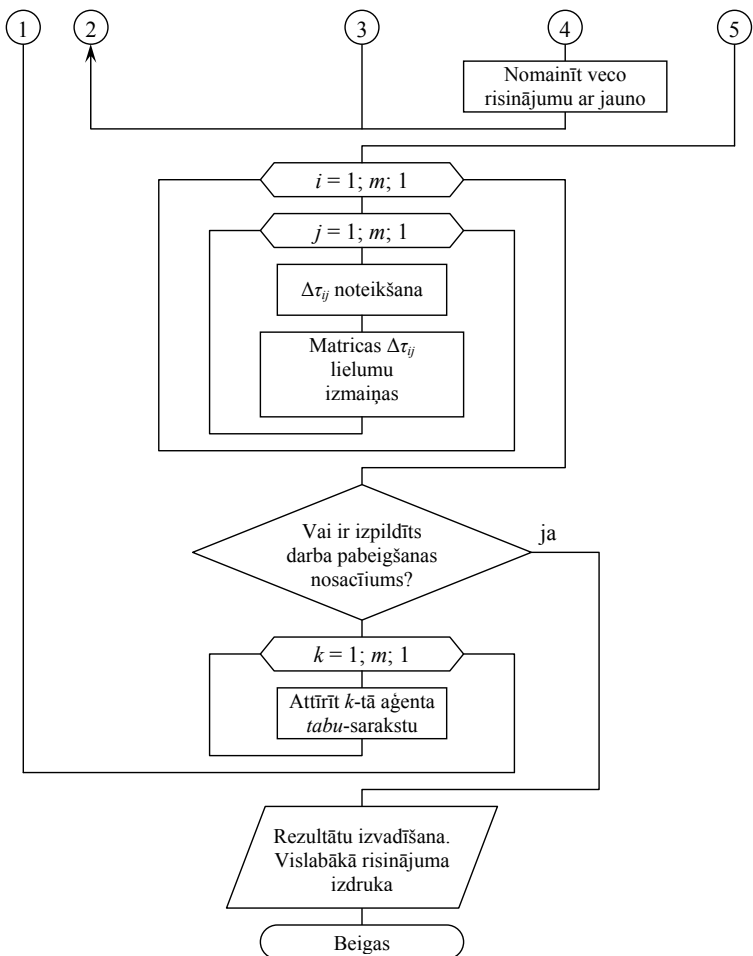
$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad (j = \overline{1..n}), \quad (2.11)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (i, j = \overline{1..n}), \quad (2.12)$$

Zemāk ir parādīts algoritms vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai pieostas stacijai (2.3. un 2.4. att.).



2.3. att. Algoritms vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai pieostas stacijā



2.4. att. Algoritms vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai pieostas stacijai (turpinājums)

Par izejas parametriem algoritmam vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai pieostas stacijā var izmantot:

- algoritma darba laiku, kurš lielāks par agrāk uzdoto;
- starpības lielumu, mazāku par uzdoto  $\epsilon$  starp visiem iegūtajiem lokālajiem risinājumiem un labāko risinājumu;

- visu aģentu lokālie risinājumi pieņēmuši vienādu vērtību.

Algoritma efektivitāte ir atkarīga no parametru  $\alpha$  (pēdas nozīmīguma koeficients),  $\beta$  (piemērotības nozīmīguma koeficients) un  $m$  (aģentu populācijas daudzums).

2.1. tabulā tiek izskatīti  $\frac{\alpha}{\beta}$  kombināciju veidi, ar kuru palīdzību var noteikt labākos risinājumus piemērotākā laika periodā.

2.1. tabula

**Koeficientu  $\alpha$  un  $\beta$  kombinācijas**

Nr. p/k	$\alpha$	$\beta$
1	0,5	5,0
2	1,0	1,0
3	1,0	2,0
4	1,0	5,0

### **8.3. Transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” procesu imitācijas modelēšanas sistēma: izstrādāšana un analīze**

**Trešajā nodaļā** veikta transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” imitācijas modeļa izstrādāšana ar šādiem uzdevumiem:

1. Imitācijas modelēšanas līdzekļa (IML) izvēle no alternatīvu daudzuma.
2. Transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” ieejošo plūsmu pamatraksturojumu modelēšana.
3. Transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” struktūras modelēšana.
4. Elementu funkcionēšanas modeļi.

IML izvēlei no alternatīvu daudzuma ir noteikti uzdevumi kritēriju vektora formēšanā, IML vērtējums, atlasot vispiemērotāko. Par alternatīvām tika izvēlēti šādi imitācijas modelēšanas līdzekļi, kas atspoguļoti 3.1. tabulā.

IML izvēles procesā visnozīmīgākie kritēriji ir:

- augsta līmeņa valodas esamība;
- adekvātas akadēmiskās versijas esamība;
- produkta cena.

Vislielāko prioritāti saņēma IML *Simul8*, tālāk attiecīgi iet *Extend* un *GPSS World*.

## Imitācijas modelēšanas līdzekļu raksturojumi

Modeļa nosaukums	Produkta cena, EUR	Kvalitatīvās dokumentācijas esamība	Nepārtraukto modeļu izveidošanas iespēja	Diskrēto modeļu izveidošanas iespēja	Vizualizēšanas līdzekļu esamība un animācijas modeļu izveidošana	Augstākā līmeņa valodas esamība	Adekvātas akadēmiskās versijas esamība	Bāzes atskaišu esamība
<i>Enterprise Dynamics</i>	1500	+	+	+	+	+	+	-
<i>FlexSim</i>	20000	+	+	+	+	+	+	-
<i>GoldSim</i>	0	+	+	-	+	+	+	-
<i>GPSS World</i>	1000	+	+	+	+	+	+	+
<i>Imagine That Extend</i>	1995	+	+	+	+	+	+	+
<i>iThink</i>	1100	+	+	+	+	-	-	-
<i>PowerSim</i>	145	+	+	-	+	+	+	-
<i>Process Model</i>	635	-	-	+	+	-	+	+
<i>Rockwell Arena</i>	2700	+	+	+	+	+	+	+
<i>Simplex 3</i>	0	-	+	+	-	+	+	-
<i>SimProcess</i>	1450	+	+	+	+	+	-	+
<b><i>Simul 8</i></b>	<b>1000</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>	<b>+</b>
<i>VenSim</i>	1100	+	+	-	+	-	+	-
<i>Witness</i>	3800	+	+	+	+	+	-	+

*Simul8* līdzeklis ir *Simul8 Corporation* imitācijas modelēšanas pakotne. *Simul8* modeļi tiek veidoti, izmantojot grafisku “darba plūsmas” attēlojumu. Attēlošana notiek, izmantojot ikonas, kas savā starpā ir savienotas ar bultiņām. Ikonas attēlo sistēmas resursus un gaidīšanas vietas. Katram objektam pēc noklusēšanas tiek piešķirtas visu parametru vērtības, kuras vēlāk var norecizēt. Praktiski uzreiz pēc sistēmas blokshēmas attēlošanas var sākt eksperimentus ar modeli un novērot modeļa darbības animāciju. Šīs pieejas realizēšana padara pakotni *Simul8* par īpaši ērtu līdzekli iesācējiem. *Simul8* modeļos tiek izmantota diezgan vienkārša iekšējā programmēšanas valoda (*Visual Logic*), kas paplašina modeļu pielietošanas iespējas, un ļauj veidot sarežģītus sistēmu modeļus. No pielietošanas sfēras skatu punkta *Simul8* ir orientēta galvenokārt uz apkalpošanas procesu modelēšanu.

Vilcienu ienākošo plūsmu identificēšanai pieostas stacijā tika risināts uzdevums, nosakot vagonu daudzuma pienākušajos sastāvos (3.1. att.) un vilcienu pienākšanas laika intervālu pieostas stacijā (3.2. att.) sadalījuma likumu.

Statistisko datu izlase tika iegūta no vilcienu kustības žurnāliem un kravas vilcienu natūrlapām, kuri pienāk stacijā ostas termināļu nozīmēšanai un tālākajai pārstrādei.

Intervālu daudzuma noteikšanai pielietota formula (3.1), kuras vērtība noapaļota līdz lielākajam veselajam:

$$L = 1 + 3,32 \cdot \lg n \quad (3.1)$$

Intervāla platuma noteikšanai pielietota formulu (3.2):

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{L}, \quad (3.2)$$

kur:  $x_{\min} \leq x_1, x_{\max} \leq x_n$ . Lielums  $h$  arī noapaļots uz lielāko pusi.

Intervāla minimālā vērtība starp divu vilcienu pienākšanas brīžiem sastādīja  $x_{\min} = 0$  min (jo vilcieni var pienākt dažādos parkos vienlaicīgi), maksimālā  $x_{\max} = 290$  min. Novērojumu kopējais skaits ir  $n = 399$ .

Statistiskā rinda, kura atspoguļo intervālus starp vilcienu pienākšanas laikiem pieostas stacijā, tika parādīta 3.2. tabulā.

Matemātiskā cerība  $\bar{t}$  ir aprēķināta, izmantojot formulu (3.3):

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^r f_i \cdot \bar{t}_i, \quad (3.3)$$

kur:  $\bar{t}_i$  - intervāla  $i$  vidējais punkts.

Empīriskā sadalījuma dispersija  $\hat{\sigma}^2$  ir aprēķināta izmantojot formulu (3.4):

$$\hat{\sigma}^2 = \hat{\sigma}^2 \cdot (\bar{x}_n) = \sum f_i \cdot (\bar{t}_i - \bar{t})^2, \quad (3.4)$$

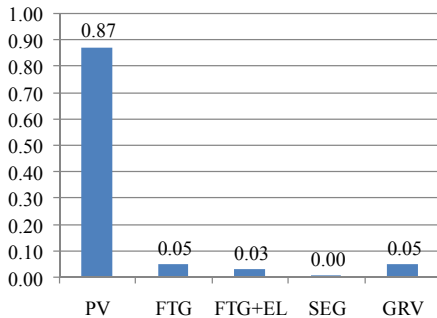
Aprēķinātie matemātiskās cerības un dispersijas lielumi ir:  $\bar{t} = 188.15$ ,  $\sigma^2 = 11764,42$ .

Vidēji kvadrātiskās novirzes lielums ir vienāds ar  $\hat{\sigma}(\bar{X}_n) = \sqrt{\hat{\sigma}^2(\bar{X}_n)} = 108,46$ .

3.2. tabula

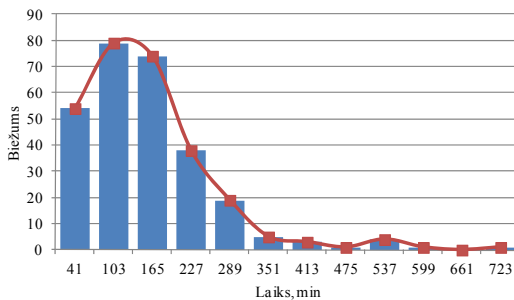
### Intervālu statistiskā rinda starp vilcienu pienākšanas brīžiem pieostas stacijā

Intervāls, min	Vērojams biežums, $n_k(\bar{X}_n)$	Relatīvā varbūtība, $f_i$	Uzkrātā relatīvā varbūtība, $F_i$
10:72	54	0,19355	0,19355
72:134	79	0,28315	0,47670
134:196	74	0,26523	0,74194
196:258	38	0,13620	0,87814
258:320	19	0,06810	0,94624
320:382	5	0,01792	0,96416
382:444	3	0,01075	0,97491
444:506	1	0,00358	0,97849
506:568	4	0,01434	0,99283
568:630	1	0,00358	0,99642
630:692	0	0,00000	0,99642
692:754	1	0,00358	1,00000
<b>Kopā:</b>	<b>279</b>	<b>1,00000</b>	



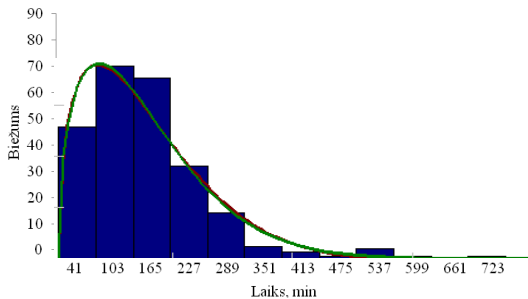
3.1. att. Iekrauto vagonu sadalījums pa tiem pienākušajos vilcienos

PV – pusvagoni; FTG – fitingu platformas; FTG+EL – refkonteineru platformas; SEG – segtie vagoni; GRV - graudu vedēji



3.2. att. Kravas vilcienu pienākšanas laika intervālu sadalījums

Lai pārbaudītu kravas vilcienu pienākšanas laika intervālu sadalījuma atbilstību teorētiskajam sadalījuma likumam, tika izmantota programmatūra *Stat-Fit for Simul8* statistisko risinājumu veikšanai (3.3. att.).



3.3. att. Kravas vilcienu pienākšanas laika intervālu sadalījuma likuma pārbaude

Rezultātā ir iegūta nosacīta atbilstība Veibulla sadalījuma likumam (*Create a combination distribution with a fixed offset of 10. then add Weibull, 1.43, 160*).

#### 8.4. PĒTĪJUMA OBJEKTA IMITĀCIJAS MODEĻA IZSTRĀDĀŠANA

Par imitācijas modeļa prototipu tika pieņemta LDZ stacija Rīga-Krasta - Rīgas ekspluatācijas iecirkņa ārpusklases kravas stacija, kura atrodas Rīgas Brīvostas teritorijā.

Modelējamā sistēmā dinamiskais objekts ir vilciens ar šādām īpašībām:

- vilciena tips (krauts, tukšs);
- vagonu skaits (57 nosacītie vagoni);
- vagonu sadalījums pa kravas veidiem (pa tiptiem, jo katram kravas veidam ir noteikts savs vagoni);
- pienākšanas laiks stacijā.

Pieostas stacijas pienākšanas parkā pienāk vilcieni ar šādu vagonu īpatsvaru: vidēji 88 % no vagoniem vilcienā ir krautie vagoni un 12 % - tukšie vagoni. Vagoni dalās tipos (pusvagoni, fītingu platformas, fītingu platformas refrīžeratorskonteineriem, segtie vagoni, graudu vedēji).

Vagonu tipu iedalījums atbilst kravu nomenklatūrai un var būt noteikts ar diskrētu sadalījumu palīdzību (4.1. tabula).

4.1. tabula

##### Kravu sadalījums krautiem vilcieniem

Nr. p/k	Kravas tips	Novērojumu daudzums	Relatīvais biežums
1	Ogles	523	0,86
2	Konteinerpreces	29	0,05
3	Refkonteinerpreces	17	0,03
4	Kokvilna	3	0,00
5	Graudi	29	0,05
6	Šķembas	10	0,02
7	Kopā:	611	1,00

Ņemot vērā 4.2. un 4.3. tabulas ir noteikts, ka vilcienu pienākšanas intervāli Rīga-Krasta stacijā saskaņā ar modelēšanas rezultātiem, pielietojot „stingro sarakstu” krietni atšķiras no modelēšanas rezultātiem, izmantojot empīrisko sadalījumu. Tāpat ir konstatētas atšķirības Rīga-Krasta stacijā pienākušo vilcienu tipos.

**Vilcienu pienākšanas intervāli Rīga-Krasta stacijā saskaņā izpildītās vilcienu kustības grafiku**

Nr. p/k	Vilciena tips	Pusvagoni	Fitingi	El. fitingi	Segtie	Graudu vedēji	Pienākšanas laiks*, min	Pienākšanas laiks*, st	Intervāls, st
1	1	44	6	1	0	6	273	4,5	-
2	1	49	2	1	1	4	800	13,3	8,8
3	2	0	26	0	18	13	881	14,7	1,3
4	1	52	3	1	0	1	1043	17,4	2,7
5	2	0	21	0	19	17	1278	21,3	3,9
6	1	50	3	1	1	2	1441	24,0	2,7
7	1	46	3	2	0	6	1540	25,7	1,7
8	1	46	3	3	0	5	1650	27,5	1,8
9	1	52	1	2	0	2	1877	31,3	3,8
10	2	0	22	0	13	22	2003	33,4	2,1
11	1	51	2	0	0	4	2079	34,6	1,3
12	1	50	6	0	0	1	2156	35,9	1,3
13	1	50	3	2	0	2	2333	38,9	3,0
14	1	53	1	1	0	2	2600	43,3	4,4
15	1	49	3	1	0	4	2747	45,8	2,4
16	1	50	1	2	1	3	3100	51,7	5,9
17	1	51	1	4	0	1	3141	52,4	0,7
18	1	46	2	5	0	4	3309	55,2	2,8
19	1	52	0	2	0	3	3425	57,1	1,9
20	2	0	29	0	11	17	3472	57,9	0,8
21	1	51	2	1	1	2	3560	59,3	1,5
22	1	44	4	3	2	4	3705	61,8	2,4
23	1	53	2	1	0	1	3786	63,1	1,3
24	1	50	1	2	0	4	3934	65,6	2,5
25	1	51	4	1	1	0	4003	66,7	1,1
26	2	0	28	0	11	18	4263	71,0	4,3
27	1	54	0	1	0	2	4320	72,0	1,0
28	2	0	27	0	11	19	4361	72,7	0,7
29	1	46	2	3	0	6	4465	74,4	1,7
30	1	47	4	2	0	4	4734	78,9	4,5
31	1	52	2	2	0	1	4945	82,4	3,5
32	1	47	1	4	1	4	5093	84,9	2,5
33	2	0	26	0	14	17	5280	88,0	3,1
34	1	51	5	1	0	0	5321	88,7	0,7
35	2	0	17	0	17	23	5383	89,7	1,0
36	1	48	2	3	0	4	5768	96,1	6,4

\* - vilcienu pienākšanas laika moments no modelēšanas procesa sākuma

**Vilcienu pienākšanas intervāli Rīga-Krasta stacijā saskaņā ar modelēšanas rezultātiem  
trijās diennaktīs („stingrais saraksts”)**

Nr. p/k	Vilciena tips	Pusvagoni	Fitingi	El. fitingi	Segtie	Graudu vedēji	Pienākšanas laiks*, min	Pienākšanas laiks*, st	Intervāls, st
1	1	44	6	1	0	6	79	1,3	-
2	1	49	2	1	1	4	119	2,0	0,7
3	1	52	3	1	0	1	245	4,1	2,1
4	2	0	21	0	19	17	343	5,7	1,6
5	1	50	3	1	1	2	387	6,5	0,7
6	1	46	3	2	0	6	620	10,3	3,9
7	1	46	3	3	0	5	660	11,0	0,7
8	2	0	22	0	13	22	868	14,5	3,5
9	1	51	2	0	0	4	968	16,1	1,7
10	1	53	1	1	0	2	1328	22,1	6,0
11	1	49	3	1	0	4	1427	23,8	1,7
12	1	51	1	4	0	1	1530	25,5	1,7
13	1	46	2	5	0	4	1592	26,5	1,0
14	1	52	0	2	0	3	1666	27,8	1,2
15	2	0	29	0	11	17	1755	29,3	1,5
16	1	51	2	1	1	2	1799	30,0	0,7
17	1	44	4	3	2	4	2032	33,9	3,9
18	1	50	1	2	0	4	2169	36,2	2,3
19	2	0	28	0	11	18	2380	39,7	3,5
20	1	54	0	1	0	2	2467	41,1	1,5
21	2	0	27	0	11	19	2529	42,2	1,0
22	1	46	2	3	0	6	2740	45,7	3,5
23	1	47	4	2	0	4	2839	47,3	1,7
24	1	47	1	4	1	4	2942	49,0	1,7
25	2	0	26	0	14	17	3004	50,1	1,0
26	1	51	5	1	0	0	3069	51,2	1,1
27	2	0	17	0	17	23	3167	52,8	1,6
28	1	48	2	3	0	4	3211	53,5	0,7
29	1	50	3	0	1	3	3444	57,4	3,9
30	1	51	1	1	1	3	3581	59,7	2,3
31	1	49	3	5	0	0	3692	61,5	1,9
32	1	50	3	1	0	3	3792	63,2	1,7
33	1	48	7	2	0	0	3879	64,7	1,5
34	1	49	2	2	0	4	4315	71,9	7,3
35	1	47	3	2	0	5	4355	72,6	0,7
36	1	55	0	2	0	0	4579	76,3	3,7

\* - vilcienu pienākšanas laika moments no modelēšanas procesa sākuma

Pēc ierašanās vilciens tiek ievietots pienākšanas parkā. Vienlaikus pienākšanas parkā var atrasties trīs vilcieni 57 vagonu sastāvā. Pienākšanas parkā notiek vilcienu komerc- un tehniskā apskate, kas aizņem no 40 līdz 120 min atkarībā no vilciena tipa. Vilciens atrodas šajā parkā līdz parādīsies iespēja aizbraukt uz vagonu izformēšanas punktu turpmākai vagonu padošanai kravas saņēmējam.

Pēc izformēšanas vagoni tiek padoti uz dažādiem ostas rajoniem un termināļiem vai uz vagonu svariem, vai uz stacijas pievedceļiem. Uz svariem tiek sūtīti vagoni, kas prasa kontroles pārsvēršanu (tara pirms iekraušanas, pēc izkraušanas, vagoni pēc iekraušanas, pirms izkraušanas) un sastāda apmēram 5 % no kopējā vagonu skaita. Katrā ostas rajonā tiek apstrādāti noteikta tipa vagoni ar noteiktu kravu.

Transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” funkcionēšanas modeļa loģiskā struktūra parādīta 4.1. attēlā. Transporta kompleksa „pieostas stacija - osta” imitācijas modelis *Simul8* vidē ir parādīts 4.2. attēlā. Izstrādājot funkcionēšanas modeli, notiekošo procesu labākajai vizualizēšanai tika pieņemts lēmums Rīgas Brīvdostas termināļu funkcionēšanas modeļus izveidot atsevišķi no kopējā Rīgas Brīvdostas un pieostas dzelzceļa stacijas funkcionēšanas modeļa.

Imitācijas modelis dod iespēju mainīt lokomotīvju, kuras veic vagonu padošanu-novākšanu, daudzumu, kā arī mainīt kravu apkalpošanas pieejamību ostas termināļos.

Rīgas Brīvdostas ogļu termināļa modelēšanas rezultāti ir apkopoti 4.4.-4.7. tabulās.

4.4. tabula

#### Rīgas Brīvdostas ogļu termināļa modelēšanas rezultāti

Nr. p/k	Laika periods	Ienākošā kravas plūsma, vagonu grupas/laika periodā	Kravas plūsmas sadalījums pa termināļiem, vagonu grupas / %		Lokomotīvju noslodze, %			Termināļu noslodze, %	
			„STREK”	„Skonto”	Nr.1	Nr. 2	Nr. 3	„STREK”	„Skonto”
1	1 diena	11	11/100	0 / 0	2	16	2	91 / 76	0 / 0
2	1 mēnesis	325	262/81	62 / 19	6	19	6	90 / 86	32 / 11
3	1 gads	3969	2942/80	754/20	4	18	4	86 / 81	32 / 11



4.5. tabula

**Vagonu sadalījums pa grupām histogramma**

Vagonu skaits	36	37	38	39	40	41	42
Relatīvais biežums, %	0,01	0,19	0,9	5,2	21,4	57,7	14,6

Izanalizējot Rīgas Brīvdostas ogļu termināla kravas plūsmu izmaiņas 1 gada periodā, kad kravas vagoni ar ogļēm saskaņā ar norīkojumu iedalās šādi: 60 % no vagoniem pienāk uz SIA „STREK” termināli un 40 % - SIA „Skonto” terminālim, tika iegūts:

4.6. tabula

**Rīgas Brīvdostas ogļu termināla modelēšanas rezultāti, mainoties kravu sadalei**

Nr. p/k	Laika periods	Kravas plūsmas sadalījums pa termināliem, vagonu grupas / %		Lokomotīvu noslodze, %			Termināļu noslodze,%	
		„STREK”	„Skonto”	Nr.1	Nr.2	Nr.3	„STREK”	„Skonto”
1	1 gads	80	20	4	18	4	86 / 81	32 / 11
2	1 gads	60	40	4	15	4	77 / 65	52 / 27

Izanalizējot Rīgas Brīvdostas ogļu termināla kravas plūsmu izmaiņas 1 gada periodā, kad kravu pieaugums ir par 25 % un 50 %, kad vagoni ar ogļēm dalās šādi: 80 % no vagoniem pienāk uz SIA „STREK” termināli un 20 % - SIA „Skonto” terminālim, tika iegūts:

4.7. tabula

**Rīgas Brīvdostas ogļu termināļa modelēšanas rezultāti, palielinoties kravu apjomam**

Nr. p/k	Pieaugums, %	Ienākošā kravas plūsma, vagonu grupas/laika periodā	Kravas plūsmas sadalījums pa termināliem, vagonu grupas / %		Lokomotīvu noslodze, %		
			„STREK”	„Skonto”	№1	№2	№3
1	25	4550	3655 / 80	895 / 20	20	22	20
2	50	5469	4381 / 80	1088 / 20	20	22	20

Piezīme: Modelēšanas laikā, kad kravu apjoms palielinājās par 25 % un par 50 %, tika atzīmēti attiecīgi 141 un 862 gadījumi, kad terminālis „STREK” izmantoja buferi. Iegūtie rezultāti norāda uz to, ka kravu apjomu pieaugums par 25 %, ņemot vērā kravu termināļu jaudas rezerves, var tikt sekmīgi apstrādāts. Savukārt, kravu pieaugums par 50 % būtiski apgrūtinā termināļa funkcionēšanu, veicot kravu apstrādi.

Rezultātā, termināļa kapacitāte ir pietiekama 25 % kravu pieauguma apstrādei, bet, palielinoties par 50 % - termināļa funkcionēšana ir krietni apgrūtināta un nav iespējams apstrādāt pieteikto kravu apjomu. Šo faktu apliecina rādītājs „Bufera izmantošana”, kā arī imitācijas modeļa dati – SIA „STREK” termināļa summārā noslodze ir 99,8 %, bet SIA „Skonto” termināļa noslodze ir 31 %.

Lai izvērtētu vadības faktoru ietekmi uz pieostas stacijas darba efektivitāti un vagonu dīkstāvi stacijā, eksperimenta plānošanas procesā tika izskatīta hipotēze par šādu faktoru ietekmi:

1. Vilcienu kustības organizēšana pēc „stingrā saraksta”.
2. Manevru lokomotīvu daudzums, kuras veic vagonu padošanu-novākšanu starp pieostas staciju un ostu.
3. Perioda ilgums, kad kravu termināļi nevar pieņemt vagonus apstrādei dažādu cēloņu rezultātā (laika apstākļi, izkraušanas veikšanas neiespējamība).

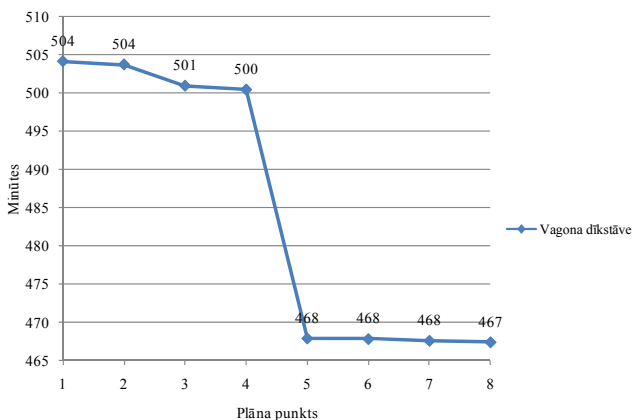
Atzīmēts, ka vagona dīkstāvi visbūtiskāk ietekmē faktori 1 un 2. Faktors 2 nosaka manevru lokomotīvu, kuras veic vagonu padošanu-novākšanu starp pieostas staciju un ostu, daudzumu. Palielinot lokomotīvu daudzumu, var sasniegt vagonu dīkstāves samazināšanos stacijā par 0.6 stundu (4.8. tabula).

4.8. tabula

**Faktoru 1, 2, 3 pielietošanas matrica**

<b>Nr. p.k.</b>	<b>Faktors 1</b>	<b>Faktors 2</b>	<b>Faktors 3</b>	<b>Vagonu dīkstāve, min</b>
1	-	-	-	504
2	+	-	-	501
3	-	+	-	468
4	+	+	-	468
5	-	-	+	504
6	+	-	+	500
7	-	+	+	468
8	+	+	+	467

Papildus veiktie eksperimenti deva iespēju novērtēt vilcienu kustības organizēšanas efektivitāti, pielietojot „stingro sarakstu” kopā ar papildus manevru lokomotīvu, kuras apkalpo ostas rajonus un termināļus, daudzuma palielināšanos. Iegūtais vagonu dīkstāves grafiks plāna dažādos punktos parādīts 4.3. attēlā.



4.3. att. Vagonu dikstāvju vidējo lielumu izmaiņas saskaņā ar faktoru plāna matricu

4.9. tabula

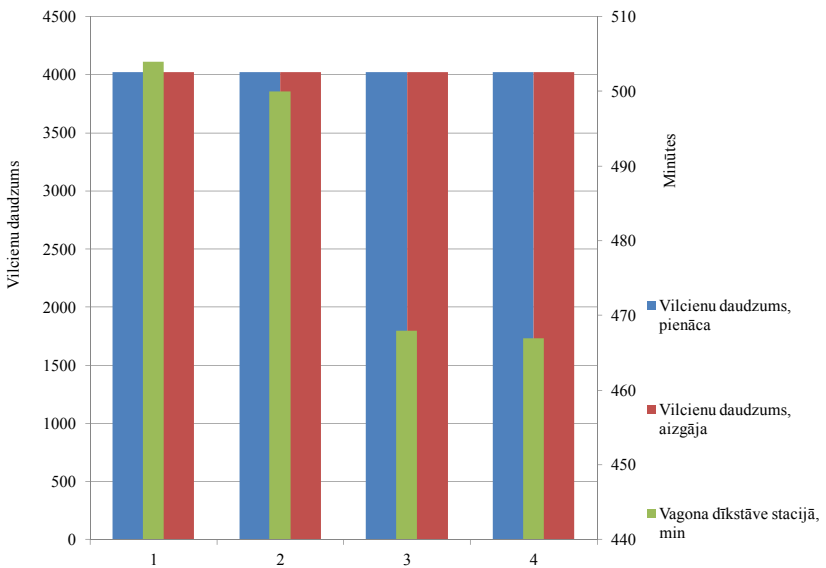
#### Vilcienu pievadīšanas organizēšanas ietekme vagonu pārstrādei

Nosaukums	Saskaņā ar izpildītās vilcienu kustības grafiku	Pielietojot „stingro sarakstu”	Pielietojot Veibulla sadalījumu	Pielietojot „stingro sarakstu” + maksimālā caurlaides spēja
Vilcienu skaits	4025	4055	3599	5585
Pusvagonu apstrādāto padevju daudzums ogļu terminālim	4031	4174	3730	4223
Fitingu platformu apstrādāto padevju daudzums konteineru terminālim	714	737	659	736
Graudu vedēju apstrādāto padevju daudzums elevatoram	456	466	439	459
Pusvagonu apstrādāto padevju daudzums pievedceļiem	3399	3486	3118	3534
Segto vagonu apstrādāto padevju daudzums pievedceļiem	273	279	259	371

Saskaņā ar modelēšanas rezultātiem, palielinoties kravas plūsmas apjomam, transporta kompleksa potenciāls tiks pilnīgi izmantots. Šajā situācijā ir fiksēta iespēja palielināt kravu apjomus ogļu termināļu un stacijas pievedceļu virzienā.

Savukārt, konteineru termināļa un elevatora kapacitāte, apstrādājot vagonu plūsmas, ir pilnīgi realizēta. Tāpēc ir sniegtas rekomendācijas attīstīt šo objektu infrastruktūru vagonu plūsmas pārstrādei lielākā apjomā. Viens no variantiem konteineru termināļa pārstrādes spējas palielināšanai ir garbāzes fitingu platformu ar četru TEU (divdesmit pēdu konteineru vienība) izmantošana.

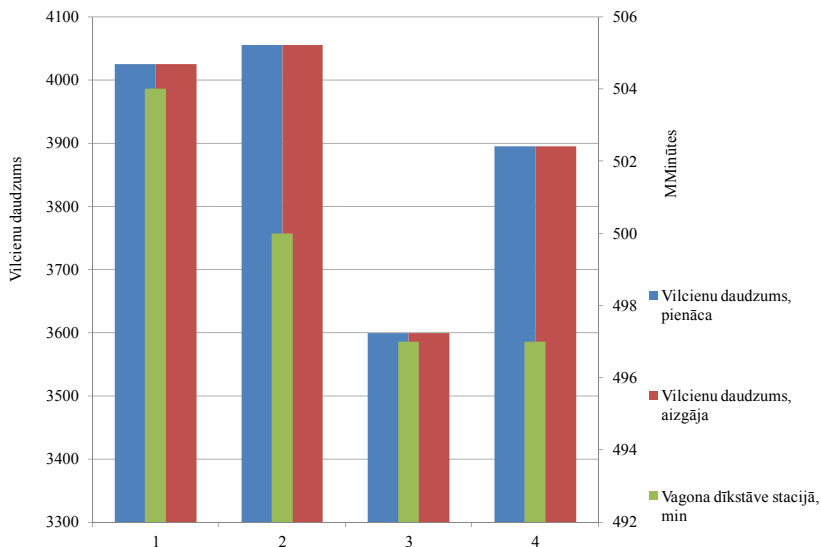
Modelēšanas rezultātu viena gada periodā rezultējošā histogramma ir parādīta 4.4. attēlā. IZanalizēta faktoru 1, 2 un 3 kombinācijas iespēja kopā ar vilcienu kustības intensitātes palielināšanos par 38 % (maksimālā caurlaides spēja iecirknī Šķīrotava - Rīga-Krasta saskaņā ar vilcienu kustības grafiku). Augstāk minēto faktoru ieviešana transporta kompleksā „pieostas stacija - osta” veicināja vagonu dīkstāvju samazināšanos par 8-12 % Rīga-Krasta stacijā ņemot vērā kravu apgrozījuma palielināšanos.



4.4. att. Modelēšanas rezultāti viena gada periodā

1 – saskaņā ar izpildīto vilcienu kustības grafiku; 2 - pielietojot „stingro sarakstu”; 3 - pielietojot „stingro sarakstu” + papildus lokomotīve ostas apkalpošanai; 4 - pielietojot „stingro sarakstu” + papildus lokomotīve ostas apkalpošanai + ostas netraucēts darbs, apstrādājot kravas

Paveikti eksperimenti, organizējot vilcienu kustību pieostas stacijas virzienā pēc „stingrā saraksta” ar varbūtējo sadalījumu un pie izejošām vilcienu plūsmām, kuras raksturo Veibulla sadalījums. Iegūtās vagonu dīkstāvju laika izmaiņas ir atspoguļotas 4.5. attēlā.



4.5. att. Vilcienu pievadīšanas organizēšanas ietekme vagonu dīkstāvei

1 - saskaņā ar izpildītās vilcienu kustības grafiku; 2 - pielietojot „stingro sarakstu”; 3 - pielietojot Veibulla sadalījumu; 4 – pielietojot „stingro sarakstu” ar pielaidēm.

Veicot st. Rīga-Krasta analīzi par 2006. gadu, ir atzīmēta divu manevru lokomotīvu esamība (viena piedalās šķirošanā un otrā veic padošanu-novākšanu), kas tolaik bija galvenais apturēšanas faktors vagonu dīkstāvju samazināšanā.

Pētījuma rezultāti atklāja nepieciešamību nodrošināt staciju ar četrām lokomotīvēm, sākot ar 2010. gadu (viena piedalās šķirošanā un trīs veic padošanu-novākšanu).

Ņemot vērā kravu apjomu pieauguma prognozi Rīgas Brīvdostā līdz 2015. gadam, pieostas stacijas darba izpildes nodrošināšanai ir vajadzīgas piecas lokomotīves (viena piedalās šķirošanā, trīs veic padošanu-novākšanu, viena piedalās šķirošanā- padošanā-novākšanā).

## 9. SLĒDZIENS

Apkopojot paveiktā darba rezultātus, var izdarīt šādus secinājumus:

1. Tika sastādīta parametru sistēma vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai pieostas stacijā.
2. Tika piedāvāti un pamatoti:
  - risinājums vilcienu pienākšanas laika optimālo intervālu noteikšanai pieostas stacijā, lai nepieļautu vilcienu haotisku nosūtīšanu st. Rīga-Krasta virzienā sakarā ar vilcienu caurlaides ierobežojumu citu staciju virzienā;
  - modelēšanas instrumentu izvēles metode procesu imitēšanai pieostas stacijai mijiedarbojoties ar ostu.
3. Ir izstrādāta modeļa veidošanas metode, ar kuras palīdzību veic darba prognozi, uzskaitot dīkstāves laiku un pieņemto vagonu daudzumu pieostas stacijā.
4. Ir paveikta pieostas stacijas un ostas mijiedarbības procesu modelēšana imitācijas modelēšanas vidē no vilcienu pienākšanas brīža līdz nosūtīšanas brīdim.
5. Vislielākais efekts vagonu dīkstāves samazināšanā ir sasniegts gan palielinot manevru lokomotīvu kopējo skaitu stacijā, gan organizējot vagonu padošanu-novākšanu starp staciju un ostu „stingrā saraksta” kopā ar netraucētu ostas termināļu funkcionēšanu. Šo faktoru pielietojums transporta kompleksā „pieostas stacija – osta” ļauj samazināt par 8-12 % vagonu dīkstāvi st. Rīga-Krasta palielinoties kravu apgrozījumam.
6. Konstatēts manevru lokomotīvu, kuras piedalās vagonu padošanas-novākšanas starp staciju un ostu, nepietiekams daudzums. Piedāvāts LDZ un, sākot ar 2010. gadu, uzsākta četras manevru lokomotīvu izmantošana stacijas un ostas termināļu pievedceļu vajadzībām (viena piedalās šķirošanā un trīs veic padošanu-novākšanu). Pamatojoties uz kravu apjomu pieauguma prognozi Rīgas Brīvēstā 2015. gadam, pieostas stacijas darba izpildes nodrošināšanai ir vajadzīgas piecas lokomotīves (viena piedalās šķirošanā, trīs veic padošanu-novākšanu, viena piedalās šķirošanā- padošanā-novākšanā).
7. Ir sasniegts vagona dīkstāves samazinājums, mainot stacijas darba tehnoloģiju, bet nemainot infrastruktūru. Eksperimentāli noteikts un rekomendēts LDZ, ka, palielinot manevru lokomotīvu daudzumu, kā arī organizējot vilcienu kustību pieostas stacijas virzienā pēc „stingrā saraksta” un palielinot vilcienu kustības intensitāti par 38 %, vagonu dīkstāve sastādītu 469 min.

8. Izmantojot imitācijas modelēšanu, ir paveikti eksperimenti, kuru rezultātā ir konstatēta pietiekama ogļu termināļa kapacitāte, lai apstrādātu par 25 % lielāku kravu apjomu. Kravu apjomam palielinoties par 50 %, termināļa pārstrādes kapacitāte nav pietiekama. Rekomendēts izmantot vagonu apgāzējus, paātrinot ogļu izkraušanu no pusvagoniem.
9. Izstrādātās dzelzceļa pieostas stacijas un ostas mijiedarbības LDZ poligonā prognozēšanas metodes turpmākai ieviešanai, ir ieteicams:
- līdz 2015. gadam palielināt lokomotīvu skaitu pieostas stacijā līdz piecām lokomotīvēm;
  - organizēt saskaņotu vilcienu pievadīšanu Šķīrotava-Rīga-Krasta poligonā, rīkojoties saskaņā ar „stingro sarakstu”;
  - organizēt pārdeves vilcienu intervālu kustību ar mērķi nepieļaut vilcienu plūsmu sastrēgumu, ko izraisa vilcienu kustības ierobežojumu rīta un vakara stundās;
  - izveidot LDZ šķirošanas un pieostas staciju imitācijas modeļu-analogu kompleksu, mijiedarbībā ar Latvijas Republikas ostām.
  - piedāvāt LDZ izmantot imitācijas modeļus staciju projektēšanas procesā, kā arī prognozējot staciju darbību (ņemot par piemēru Rīga-Krasta stacijas pārstrādes spējas aprēķinus).

**Fjodors MIHAILOVS**

**DZELZCEĻA PIEOSTAS STACIJAS UN OSTAS MIJIEDARBĪBAS VADĪŠANA  
PAMATOJOTIES UZ IMITĀCIJAS MODELĒŠANU  
Promocijas darba kopsavilkums**

---

Parakstīts iespiešanai 2012.04.12. Reģ. apl. Nr. 2-0282.  
Formāts 60x84/16. Ofseta papīrs. Ofseta papīrs. 2,5 iesp.l.,  
1,94 uzsk.izd.l. Metiens 40 eks. Pasūt. Nr. 119.  
Iespiests RTU tipogrāfijā, Rīga LV-1658, Kaļķu ielā 1.