

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Jurgita BARYSIENĖ

KONTEINERIŲ APTARNAVIMO CIKLO MODELIAVIMAS INTERMODALINIO TRANSPORTO TERMINALE

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
TRANSPORTO INŽINERIJA (03T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2011

Disertacija rengta 2007–2011 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas

prof. habil. dr. Adolfas BAUBLYS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, transporto inžinerija – 03T).

VGTU leidyklos TECHNIKA 1933-M mokslo literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-609-457-013-1

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2011

© Jurgita Barysienė, 2011

jurgita.barysiene@vgtu.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Jurgita BARYSIENĖ

MODELLING OF THE CONTAINERS HANDLING'S CYCLE IN THE INTERMODAL TRANSPORT TERMINAL

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
TRANSPORT ENGINEERING (03T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2011

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2007–2011.

Scientific Supervisor

Prof Dr Habil Adolfas BAUBLYS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Transport Engineering – 03T).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjamos uosto konteinerių terminalų veiklos planavimo problemos. Pagrindinis darbo objektas – konteinerio aptarnavimo technologinis ciklas intermodalinio transporto terminale. Autorės suformuluotas konteinerio aptarnavimo ciklo matematinis modelis leido nustatyti ciklą įtakančius veiksnius, juos įvertinti ir, remiantis jų reikšmingumu bendram ciklui, atlikti tradicinių terminalo technologijų daugiakriterinį vertinimą siekiant trumpiausio konteinerių aptarnavimo laiko.

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai ir rezultatų apibendrinimas, naudotos literatūros ir autorės publikacijų disertacijos tema sąrašai bei aštuoni priedai.

Įvade trumpai aptarta tiriamoji problema, darbo aktualumas, pristatytas tyrimų objektas, suformuluotas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašyta tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, rezultatų praktinė reikšmė bei pateikti ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje išvardintos autorės paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose disertacijos tema.

Pirmajame skyriuje atskleista terminalų reikšmė intermodalinių vežimų sistemai. Atlikta mokslinės literatūros šaltinių, skirtų terminalo veiklos problemoms spręsti, analizė. Taip pat išanalizuotos dažniausiai uosto konteinerių terminaluose naudojamos techninės priemonės.

Antrasis skyrius skirtas populiariausių daugiakriterinio vertinimo metodų bei jų taikymo analizei. Parinktas priimtinausias daugiakriterinio vertinimo metodas, taikytinas technologijų alternatyvų vertinimui.

Trečiasis skyrius skirtas konteinerio aptarnavimo ciklo tyrimui. Skyriuje pateiktas autorės sudarytas matematinis konteinerio aptarnavimo ciklo modelis bei nustatyti tiesiogiai jį įtakančios veiksniai.

Ketvirtajame skyriuje įvertinta konteinerio aptarnavimo ciklą įtakančių veiksnių įtaka. Gautų rezultatų pagrindu pritaikytas daugiakriterinio vertinimo metodas ir sukurta metodika intermodalinio terminalo technologijų vertinimui atlikti.

Disertacijos tema publikuoti 9 moksliniai straipsniai ir pristatyti 9 pranešimai Lietuvos bei kitų šalių mokslinėse konferencijose.

Abstract

The dissertation investigates the issues of planning problems of container terminals' activity. The main object of the work is the technological cycle of container handling in an intermodal transport terminal. The mathematical model of container handling's cycle created by the author enables to determine factors influencing container's cycle and to perform multi-attribute assessment of traditional terminal technologies on purpose to achieve short duration of container handling.

The dissertation consists of four parts including *Introduction*, *4 chapters*, *Conclusions*, *References* and *8 Annexes*.

The introduction briefly reveals the investigated problem, the importance of the thesis and the object of research, describes the main aim and tasks of the work, research methodology, scientific novelty, the practical value of results and defended propositions. The introduction ends in presenting the authors' publications on the topic of the dissertation and defining the structure of the paper.

Chapter 1 reveals the significance of terminals for the intermodal transport system. Chapter 1 is devoted to an analysis of scientific literature related to the issues of terminal activity's planning. Also, traditional technologies mostly used in container terminals at a port are analysed.

Chapter 2 covers the analysis of the most popular multi-attribute assessment methods and their application. The best multi-attribute assessment method for the evaluation of technologies is selected.

Chapter 3 is dedicated for the research of the container handling's cycle. In this chapter the mathematical model of the container handling's cycle is formulated, and the factors, immediately concerned with the cycle, are identified.

In Chapter 4 the assessment of the factors influencing the cycle of container handling is performed. Based on the results, the multi-attribute assessment method is adapted and the approach for the evaluation of terminal technologies' alternatives is made.

9 papers focusing on the subject of the discussed dissertation are published and 9 presentations have been given in the conferences at national and international level.

Žymėjimai

Simboliai

a – sandėliavimo aikštelės ilgis;

a_{kont} – konteinerio ilgis;

b – sandėliavimo aikštelės plotis;

$H_{kont.pak}$ – konteinerio pakėlimo aukštis;

$H_{kont.nul}$ – konteinerio nuleidimo aukštis;

L_{kl} – kliento transporto priemonės važiavimo atstumas;

L_t – terminalo transporto priemonės važiavimo atstumas;

l_{kont} – maksimalus konteinerio gabenimo atstumas;

l_s – sektoriaus ilgis;

L_{kr} – krano judėjimo atstumas;

L_{kraut} – krautuvo judėjimo atstumas;

L_v – krano vežimėlio judėjimo atstumas;

N_i – i alternatyvos naudingumo laipsnis;

P_i – rodiklių reikšmių, kurių didesnė reikšmė alternatyvai priimtinesnė, suma;

Q_i – i alternatyvos santykinis reikšmingumas;

q_j – j rodiklio reikšmingumas;

R_i – rodiklių reikšmių, kurių mažesnė reikšmė alternatyvai priimtinesnė, suma;

$\bar{t}_j$ – vidutinė j rodiklio įvertinimo reikšmė;

t_{jr} – r eksperto atliktas j rodiklio įvertinimas;

T_{ciklo} – konteinerio aptarnavimo ciklo trukmė;

T_1 – konteinerio iškrovimo iš laivo trukmė;
 T_2 – konteinerio gabenimo nuo krantinės iki sandėliavimo aikštelės trukmė;
 T_3 – konteinerio krovos tarp terminalo priemonės ir sandėliavimo vietos trukmė;
 T_4 – konteinerio sandėliavimo trukmė;
 T_5 – konteinerio krovos tarp sandėliavimo vietos ir kliento transporto priemonės trukmė;
 T_6 – konteinerio transportavimo iš terminalo trukmė;
 T_7 – dokumentų ir konteinerio patikros bei kitų muitinės procedūrų atlikimo trukmė;
 t_1 – trukmė, kuomet krautuvo griebtuvas yra nustatomas virš konteinerio jam užkabinti;
 t_2 – konteinerio pakėlimo trukmė;
 t_3 – krautuvo apsisukimo trukmė;
 t_4 – krautuvo judėjimo su konteineriu trukmė;
 t_5 – konteinerio nuleidimo trukmė;
 t_6 – konteinerio pastatymo į vietą ir jo atkabinimo trukmė;
 t_9 – suminis laikas, sugaišamas krautuvo mechanizmų įjungimui ir išjungimui;
 t_{kont} – konteinerio pakėlimo arba nuleidimo trukmė;
 t_v – vežimėlio judėjimo trukmė;
 t_{kr} – krano judėjimo trukmė;
 $t_{už}$ – konteinerio užkabinimo trukmė;
 t_{at} – konteinerio atkabinimo trukmė;
 t_n – trukmė, kuomet griebtuvas yra nustatomas virš konteinerio jam užkabinti;
 t'_n – konteinerio pastatymo į vietą ir jo atkabinimo trukmė;
 t_{vald} – suminis laikas, sugaišamas visų krano mechanizmų įjungimui ir išjungimui;
 $t_{gr.st.}$ – krautuvo greitėjimo ir stabdymo trukmė;
 $V_{kont.pak}$ – konteinerio pakėlimo greitis;
 $V_{kont.nul}$ – konteinerio nuleidimo greitis;
 V_{kr} – krano judėjimo greitis;
 V_{kraut} – krautuvo judėjimo greitis;
 V_v – krano vežimėlio judėjimo greitis;
 V_{kl} – kliento transporto priemonės važiavimo greitis;
 V_t – terminalo transporto priemonės važiavimo greitis;
 W – Kendall'o konkordancijos koeficientas;
 φ – koeficientas, nusakantis atskirų darbo ciklo operacijų persidengimą;
 χ^2 – konkordancijos koeficiento reikšmingumo kriterijus (Friedman'o kriterijus).

Santrumpos

EK – Europos Komisija;

ETMK – Europos transporto ministrų konferencija;
ES – Europos Sąjunga;
FEU – keturiasdešimtys pėdų ekvivalentinis vienetas;
ITV – intermodalinis transporto vienetas;
RMG – ožinis kranas ant geležinkelio bėgių;
RTG – ožinis kranas su guminėmis padangomis;
TEU – dvidešimtys pėdų ekvivalentinis vienetas;
UIRR – Tarptautinė kelių ir geležinkelių kombinuotojo transporto kompanijų sąjunga;
UNCTAD – Jungtinių Tautų prekybos ir plėtros konferencija.

Apibrėžimai

Intermodalinis transportas – krovinių vežimas viename ir tame pačiame krovos vienetu ar transporto priemonėje, kai paeiliui yra naudojamos dvi ar daugiau transporto rūšys, o patys kroviniai nėra perkraunami.

Intermodalinis transporto vienetas – tai konteineris, puspriekabė ar keičiamoji talpykla.

Terminalas – vieta su atitinkama infrastruktūra ir superstruktūra kroviniams perkrauti tarp dviejų ar daugiau transporto rūšių.

Infrastruktūra – bendrojo naudojimo kelių, inžinerinių įrenginių (tinklų), komunikacijų, statinių ir privažiuojamųjų geležinkelio kelių kompleksas, nuosavybės teise priklausantis valstybei.

Superstruktūra – krovos įrenginių kompleksas ir kiti objektai nuosavybės teise priklausantys terminalo žemės naudotojams.

Konteineris – daugkartinio naudojimo metalinė dėžė, skirta gabenti krovinius, suprojektuota taip, kad būtų patogiai perkrauti tarp skirtingų transporto rūšių.

Konteinerio aptarnavimo ciklas – konteinerio judėjimo terminale trukmė, pradedant nuo jo paėmimo krantinės kranu iš laivo iki išvežimo kliento transporto priemone pro išvykimo vartus.

Turinys

IVADAS	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas.....	2
Darbo objektas	2
Darbo tikslas.....	3
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodika	3
Darbo mokslinis naujumas	3
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	4
Ginamieji teiginiai.....	4
Darbo rezultatų aprobavimas.....	4
Disertacijos struktūra.....	5
1. TERMINALŲ REIKŠMĖ INTERMODALINIŲ VEŽIMŲ SISTEMOJE.....	7
1.1. Intermodalinio transporto esmė ir plėtros tendencijos.....	7
1.2. Intermodalinių terminalų koncepcija ir reikšmė	12
1.3. Konteinerių terminalo veikla.....	16
1.4. Techninė įranga, naudojama uosto konteinerių terminaluose	21
1.5. Pirmojo skyriaus išvados.....	24
2. DAUGIAKRITERINIŲ SPRENDIMŲ PRIĖMIMO METODŲ APŽVALGA.....	27
2.1. Sprendimų priėmimo metodai	27

2.2. Rodiklių reikšmingumo nustatymo metodas	28
2.3. Sprendimų priėmimo metodų taikymas.....	30
2.4. Antrojo skyriaus išvados	42
3. KONTEINERIO APTARNAVIMO CIKLO MATEMATINIS MODELIAVIMAS	
IR JĮ ĮTAKOJANČIŲ VEIKSNIŲ NUSTATYMAS.....	43
3.1. Krovos proceso matematinis aprašymas.....	43
3.2. Konteinerio aptarnavimo ciklo modeliavimas.....	47
3.3. Veiksnių, įtakančių konteinerio aptarnavimo ciklą, nustatymas	52
3.4. Trečiojo skyriaus išvados	58
4. DAUGIAKRITERINIS TERMINALO TECHNOLOGIJŲ VERTINIMAS.....	59
4.1. Veiksnių reikšmingumų nustatymas eksperimentiniu metodu	59
4.2. Veiksnių reikšmingumų nustatymas ekspertiniu metodu	64
4.3. Terminalo technologijų daugiakriterinis vertinimas.....	67
4.3.1. Vilkiko su platformų sąstatu sistemos daugiakriterinis vertinimas	68
4.3.2. Aikštelės ožinių kranų sistemos daugiakriterinis vertinimas	72
4.3.3. Konteinerinių krautuvų sistemos daugiakriterinis vertinimas	78
4.3.4. Ožinių krautuvų tiesioginės sistemos daugiakriterinis vertinimas.....	82
4.3.5. Ožinių krautuvų perstatomosios sistemos daugiakriterinis vertinimas.....	87
4.4. Technologijų palyginimas	91
4.5. Praktinis pritaikymas	96
4.6. Ketvirtojo skyriaus išvados	96
BENDROSIOS IŠVADOS	99
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....	101
AUTORIAUS PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS	119
PRIEDAI.....	121
A priedas. Ekspertinio vertinimo apklausos anketa.....	121
B priedas. Ekspertinio vertinimo rezultatai	123
C priedas. Pagrindiniai techninių priemonių duomenys.....	125
D priedas. Pradinės technologijų veiksmų reikšmės	126
E priedas. Daugiakriterinio vertinimo rezultatai, kai sandėliavimo pajėgumai siekia 500 TEU/ha.....	127
F priedas. Daugiakriterinio vertinimo rezultatai, kai sandėliavimo pajėgumai siekia 750 TEU/ha.....	128
G priedas. Daugiakriterinio vertinimo rezultatai, kai sandėliavimo pajėgumai siekia 1000 ir daugiau TEU/ha.....	129
H priedas. Stebėjimo rezultatų konteinerių terminaluose analizė.....	130

Contents

INTRODUCTION	1
The research problem	1
The relevance of the work	2
The object of the research	2
The aim of the work	3
The tasks of the work	3
The methodology of the research	3
The scientific novelty	3
The practical value	4
Defended propositions.....	4
Approval of the results	4
The scope of the work	5
1. THE SIGNIFICANCE OF A TERMINAL FOR THE INTERMODAL TRANSPORTATION SYSTEM.....	7
1.1. The essence of intermodal transport and development trends	7
1.2. The concept and significance of intermodal terminal.....	12
1.3. Activity of container terminal	16
1.4. Technical equipment used in container terminal at ports	21
1.5. Conclusions of Chapter 1	24
2. THE REVIEW OF MULTI-ATTRIBUTE DECISION-MAKING METHODS	27

2.1. Decision making methods	27
2.2. Method determining the significance of factors	28
2.3. Application of decision-making methods.....	30
2.4. Conclusions of Chapter 2	41
3. MODELLING OF THE CONTAINER HANDLING'S CYCLE AND IDENTIFICATION OF FACTORS INFLUENCE IT	43
3.1. Mathematical description of loading process	43
3.2. Modelling of container handling's cycle	47
3.3. The identification of factors influencing container handling's cycle	52
3.4. Conclusions of Chapter 3	58
4. THE MULTI-ATTRIBUTE ASSESSMENT OF THE TERMINAL TECHNOLOGIES	59
4.1. Determination of factors' significance by experimental method.....	59
4.2. Determination of factors' significance by expert method	64
4.3. Multi-attribute assesment of the technologies	67
4.3.1. Multi-attribute assesment of the multi-trailer system	68
4.3.2. Multi-attribute assesment of the yard gantry cranes system.....	72
4.3.3. Multi-attribute assesment of the reach stackers system.....	78
4.3.4. Multi-attribute assesment of the straddle carriers direct system.....	82
4.3.5. Multi-attribute assesment of the straddle carriers relay system.....	87
4.4. Comparison of the technologies	91
4.5. Practical application	96
4.6. Conclusions of Chapter 4	96
GENERAL CONCLUSIONS	99
REFERENCES	101
LIST OF THE AUTHORS' SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF DISSERTATION	119
ANNEXES (IN CD)	121
Annex A. Questionnaire of expert assessment	121
Annex B. Results of expert assessment	123
Annex C. Basic data of technical equipment.....	125
Annex D. Initial values of technology factors.....	126
Annex E. Results of multi-attribute assessment under the storage capacity 500 TEUs/ha.....	127
Annex F. Results of multi-attribute assessment under the storage capacity 750 TEUs/ha.....	128
Annex G. Results of multi-attribute assessment under the storage capacity 1000 TEUs/ha.....	129
Annex H. Analysis of observation's results in container terminals.....	130

Įvadas

Problemos formulavimas

Transporto sektorius susiduria su rimtomis socialinį-ekonominių poveikį turinčiomis problemomis, kurias sąlygoja didelės transporto grūstys automobilių keliuose. Tradicinės priemonės, skirtos atskirų transporto rūšių veiklos tobulinimui, nepadeda išspręsti vis didėjančių transporto sistemos problemų. Pagrindiniu iškilusių problemų sprendimu yra laikoma transporto rūšių integracija, kurios principas paremtas krovinių perkėlimu iš kelių transporto priemonių į alternatyvias transporto rūšis.

Pastaruoju metu vis labiau pabrėžiama intermodalinio transporto svarba ir jam palaikyti bei skatinti skiriamos įvairios politinės ir finansinės priemonės. Jo teikiamų privalumų naudą pajunta ne tik krovinių vežimo grandinės dalyviai, tačiau ir visuomenė apskritai. Intermodalinio transporto pranašumai pasireiškia eksploatacinių infrastruktūros sąnaudų ir socialinių sąnaudų sumažėjimu.

Tačiau intermodalinis transportas yra sudėtingas vežimų būdas, kuris apjungia įvairias transporto rūšis. Ir tam, kad vyktų sklandi atskirų transporto rūšių integracija, privalo vykti glaudi jų sąveika terminale. Terminaluose naudojama infrastruktūra bei superstruktūra leidžia atlikti krovinių perkėlimą tarp skirtingų transporto rūšių. Tačiau turimi techniniai pajėgumai dar negarantuoja veiksming-

gos terminalo veiklos. Viena efektyvaus terminalo funkcionavimo prielaidų yra tinkamai parinkta darbo technologija.

Disertacijoje nagrinėjami jūrų uosto konteinerių terminalų veiklos principai bei sprendžiama technologijų parinkimo problema. Problema sprendžiama analizuojant konteinerių aptarnavimo operacijas, kai tikslo funkcija yra konteinerio aptarnavimo ciklo optimizavimas. Tikslui pasiekti sudarytas konteinerio aptarnavimo ciklo matematinis modelis, kuriuo remiantis identifikuoti ciklą tiesiogiai įtakojojantys veiksniai ir ekspertinio vertinimo metodu nustatyta kiekvieno veiksnio įtaka analizuojamam procesui. Gautų rezultatų pagrindu sukurta metodika intermodalinio terminalo technologijų vertinimui.

Darbo aktualumas

Kartu su sparčiu konteinerių srautų apimčių augimu, konteinerių terminalai uostuose tapo itin svarbiu transporto tinklo mazgu, kuris tarnauja kaip sąsaja tarp vandens ir sausumos transporto bei užtikrina sklandų srautų judėjimą. Greitai ir kokybiškai laivus aptarnaujantys konteinerių terminalai lemia uostų konkurencingumą visame regione. Siekiant išlaikyti ar pagerinti savo pozicijas konkurencinėje rinkoje, uostų krovo kompanijos priverstos ieškoti būdų kaip padidinti terminalų veiklos efektyvumą. Tuo tikslu yra kuriamos naujos darbo planavimo strategijos, investuojama į pažangias informacines technologijas ar konteinerių aptarnavimo automatinio valdymo sistemas. Tačiau gerai nepagrįstos investicijos ne visada gali pasiteisinti ir išspręsti kylančias problemas, ypačingai dėl to, jei terminalo infrastruktūra nėra pritaikyta šiuolaikinėms technologijoms. Dėl šios priežasties kyla būtinybė teisingai parinkti efektyvią krovinių aptarnavimo terminale technologiją, kadangi terminaluose vykstantys procesai yra neatsiejama viso vežimo proceso dalis ir tiesiogiai veikia bendrą krovinių vežimo trukmę. Minimizavus konteinerių aptarnavimo terminale trukmę, būtų sumažintas viso vežimo proceso trukmė ir sudarytos prielaidos transportavimo grandinės efektyvumui didinti.

Darbo objektas

Darbo objektas – konteinerio aptarnavimo technologinis ciklas intermodalinio transporto terminale.

Darbo tikslas

Šio darbo tikslas – sudaryti konteinerio aptarnavimo ciklo matematinį modelį, kuriuo remiantis būtų galima atlikti terminalo technologijų daugiakriterinį vertinimą ir nustatyti, kuri iš technologijų alternatyvų esant konkrečioms sąlygoms yra efektyviausia, siekiant trumpiausio konteinerių aptarnavimo laiko.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti suformuluoti šie uždaviniai:

1. Išaiškinti terminalo svarbą intermodaliniams vežimams bei nustatyti veiklos problemas.
2. Išanalizuoti daugiakriterinio vertinimo sprendimų priėmimo metodus, jų taikymą ir parinkti metodą analizuojamai problemai spręsti.
3. Sudaryti matematinį modelį, aprašantį konteinerio aptarnavimo ciklą terminale. Remiantis sudarytu konteinerio aptarnavimo ciklu, nustatyti konteinerio ciklą lemiančius veiksnius bei įvertinti kiekvieno veiksnio įtaką konteinerio aptarnavimo trukmei.
4. Remiantis pritaikytu daugiakriterinio vertinimo metodu atlikti terminalo technologijų vertinimą ir nustatyti efektyviausią technologiją, taikytiną hipotetiniame terminale.

Tyrimų metodika

Tyrimų metodika pagrįsta Lietuvos ir užsienio šalių mokslininkų atliktų darbų šioje srityje analize, pritaikyti matematinio modeliavimo, ekspertinio vertinimo, statistinių duomenų grupavimo ir apdorojimo SPSS programa, daugiakriterinio vertinimo (COPRAS-G) metodai. Taip pat darbe panaudoti stebėjimo, atlikto Klaipėdos valstybinio jūrų uosto konteinerių terminaluose, metu gauti duomenys.

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją gauti šie transporto inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Sukurtas matematinis konteinerio aptarnavimo ciklą terminale aprašantis modelis, kuris sudaro sąlygas nustatyti efektyviausią terminale taikytiną konteinerių aptarnavimo technologiją.

2. Apibendrinta konteinerio aptarnavimo ciklą įtakojanti veiksnių sistema, kuri sudaro sąlygas atlikti kompleksinį terminalo technologijų vertinimą.
3. Naudojant patikslintą daugiakriterinio vertinimo metodą, sudaryta ir praktiškai pritaikyta metodika konteinerių aptarnavimo terminale technologijoms vertinti.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

1. Sukurtas konteinerio aptarnavimo ciklo matematinis modelis skirtas efektyviausios technologijos, taikytinos bet kokio dydžio terminale, nustatymui.
2. Nustatyti konteinerio aptarnavimo ciklą lemiantys veiksniai bei įvertinti jų reikšmingumai skirti įvairios terminalo techninės įrangos lyginamajai analizei atlikti.

Ginamieji teiginiai

1. Sukurtas matematinis konteinerio aptarnavimo ciklo modelis sudaro prielaidas nustatyti efektyviausią terminale taikytiną konteinerių aptarnavimo technologiją.
2. Apibendrinta konteinerio aptarnavimo ciklą įtakančių veiksnių sistema sudaro daugiakriterinio vertinimo rodiklių sistemą ir leidžia atlikti kompleksinį terminalo technologijų alternatyvų vertinimą bei jas tarpusavyje palyginti.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema yra atspausdinti 9 moksliniai straipsniai: 1 – mokslo žurnale, įtraukta į „ISI Web of Science“ duomenų bazę; 1 – mokslo leidinyje, įtraukta į „ISI Proceedings“ sąrašą; 1 – recenzuojamoje užsienio tarptautinės konferencijos medžiagoje; 1 – recenzuojamoje Lietuvos tarptautinės konferencijos medžiagoje; 1 – recenzuojamoje Lietuvos konferencijos medžiagoje; 2 – nerenzuojamose Lietuvos konferencijų medžiagose; 2 – kituose recenzuojamuose leidiniuose.

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti 9 mokslinėse konferencijose:

- Jaunųjų mokslininkų konferencijose „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“ 2006–2008, 2010 m. Vilniuje, Lietuvoje (4);
- Tarptautinėje konferencijoje „*Transport Means*“ 2007–2009 m. Kaune, Lietuvoje (3);
- Tarptautinėje konferencijoje „*Reliability and Statistics in Transportation and Communication*“ 2008 m. Rygoje, Latvijoje (1);
- Doktorantų mokslinėje konferencijoje „*Jaunimas siekia pažangos*“ 2009 m. Kaune, Lietuvoje (1).

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, 4 skyriai, išvados, literatūros sąrašas, publikacijų sąrašas ir priedai.

Darbo apimtis – 122 puslapiai, tekste panaudota 85 numeruotos formulės, 25 paveikslai ir 12 lentelių. Disertaciją rašant vadovautasi 246 mokslinės literatūros ir kitais šaltiniais.

Terminalų reikšmė intermodalinių vežimų sistemoje

Skyriuje pateikta apibrėžta intermodalinių terminalų koncepcija ir svarba intermodalinio transporto sistemai, išanalizuotos terminalų veiklos problemos ir pristatytos populiariausios juose naudojamos konteinerių aptarnavimo techninės priemonės.

1.1. Intermodalinio transporto esmė ir plėtros tendencijos

Pasaulinėje mokslinėje literatūroje egzistuoja įvairios intermodalinio transporto interpretacijos (Jaržemskis 2008; Corry, Kozan 2008; Jaržemskienė 2007; Macharis, Bontekoning 2004 ir kt.), tačiau Europos transporto ministrų konferencijos (ETMK) ir Europos Komisijos (EK) yra apibrėžiamas kaip krovinių vežimas viename ir tame pačiame krovos vienetu ar transporto priemonėje, kai paeiliui yra naudojamos dvi ar daugiau transporto rūšys, o patys kroviniai, keičiant transporto rūšį, nėra perkraunami (ETMK, EK 2001).

Toks apibrėžimas atmeta galimybę atlikti bet kokiais pridėtinę vertę turinčias operacijas, tokias kaip trečiosios šalies logistinės paslaugos, susijusios su krovi-

nių perkrovimu terminale. Be to, taip pat atmetama galimybė pakeisti krovinio gabenimo įrangą. Ši transportavimo forma griežtai apibrėžta kaip intermodalinių transporto vienetų (ITV) vežimas ir neleidžiamas joks krovinio perkrovimas jo transportavimo „nuo durų iki durų“ metu.

Integruotos transportavimo grandinės panaudojimas sąlygoja ypatingą reiškinį, transporto teorijoje ir praktikoje apibrėžiamą kaip transporto rūšių sąveika (Baublys 2007). Tai dviejų sąveikaujančių transporto rūšių sistemos charakteristika, kuri leidžia teikti intermodalinio transporto paslaugas atitinkamuose maršrutuose ar mazguose ir naudoti tokias pačias paslaugas, kurias teikia skirtingi transporto grandinės dalyviai (Vasilis Vasiliauskas 2005). Šis reiškinys apibrėžia harmoningo bendradarbiavimo, o tuo pačiu ir priėjimo prie infrastruktūros bei priimtino paslaugų lygio teikimo galimybę. Skiriami trys pagrindiniai sąveikos aspektai:

- techninė sąveika, kuri pasireiškia jungtimis tarp skirtingų transporto rūšių per suderintas technologijas;
- organizacinė sąveika, kuri pasireiškia kelių skirtingų organizacijų bendradarbiavimu siekiant teikti vartotojams transporto paslaugas;
- teisinė sąveika, kuri pasireiškia skirtumų tarp nacionalinių ir ES teisės aktų pašalinimu (Vasilis Vasiliauskas, Barysienė 2008a).

Taigi intermodalinis transportas traktuojamas kaip tam tikra sąveika, kurios tikslas stiprinti techninius ir organizacinius ryšius tarp atskirų transporto rūšių ir jų dalyvių, siekiant didesnio visos sistemos efektyvumo.

Intermodalumo ištakų galima ieškoti XX amžiaus 6–7 dešimtmetyje, kurios siejamos su konteinerizacijos atsiradimu jūrų transporto sektoriuje (Steenken, Stahlbock 2004). Iš esmės intermodalinio transporto atsiradimą sąlygojo šios prielaidos:

- augantys prekių mainai iki tokio lygio, kad pasaulio uostai nebūtų sugebę aptarnauti krovininių srautų;
- prekyboje pradėjo dominuoti gatavi produktai, kurių vežimui reikėjo daugiau saugos priemonių;
- siekiant didesnio veiklos efektyvumo buvo pradėtos kurti operatyvios krovybos darbų priemonės.

Atitinkamai prie konteinerizacijos atsiradimo turėjo prisitaikyti geležinkelių sektorius ir užtikrinti uostų aptarnavimą. To pasekoje buvo pradėtos kurti nacionalinės konteinerių vežimų kompanijos ir platus terminalų tinklas. Tačiau intermodalinio transporto vienetų panaudojimas integralioje sausumos transporto sistemoje pasirodė kiek sudėtingesnis lyginant su kelių transporto rūšimi. To priežastys yra:

- kelių transportas lengviau prisitaiko prie ekonominių pokyčių ir klientų reikalavimų, tuo tarpu geležinkelių veiklos principai yra nelankstūs ir dėl to klientams nepatrauklūs;

- intermodalinio transporto paslaugos teikimo sudėtingumas ir atsakomybės aiškumo trūkumas, kadangi vežimo grandinėje dalyvauja daug dalyvių;
- kelių transporto vežėjų bandymas išlaikyti rinką ir intermodalinių alternatyvų ignoravimas.

Kiekviena transporto rūšis turi savas, jai būdingas savybes. Tuo tarpu intermodalinio transporto tikslas yra didinti transportavimo efektyvumą siejant atskirų transporto rūšių pranašumus (Vasilis Vasiliauskas 2004). Mokslinėje literatūroje yra įvardijami (Campisi, Gastaldi 1996; Fiqued 1999; Hine 1999; Lowe 2006; Roso 2008) ir tyrimais patvirtinti (UIRR 2003; UIRR 2009) šie intermodalinio transporto privalumai:

1. Eksploatacinių infrastruktūros sąnaudų sumažėjimas:
 - spūsčių automobilių keliuose mažėjimas;
 - geresnis geležinkelių pajėgumų naudojimas.
2. Socialinių sąnaudų mažėjimas:
 - saugumo keliuose didėjimas;
 - taršos ir triukšmo mažėjimas;
 - energijos išteklių taupymas;
 - klimato kaitos mažėjimas.
3. Nauda vartotojams:
 - a) tiesioginė:
 - kintamų sąnaudų mažėjimas;
 - mažesnis įrangos nusidėvėjimas;
 - mažesnis transporto priemonių parko poreikis;
 - atleidimas nuo kelių transporto priemonių mokesčių.
 - b) netiesioginė:
 - paprastesnė sienų kirtimo procedūra;
 - palankesnės vairuotojų darbo ir poilsio laiko režimo sąlygos;
 - draudimų dirbti tam tikru paros metu ar savaitės dieną išvengimas;
 - trumpesnė krovinių vežimo kelionės trukmė;
 - mažesnė krovinių apgadinimo tikimybė krovos metu.

Intermodalinio transporto pranašumas pirmiausia pasireiškia tuo, kad derinant įvairių transporto rūšių privalumus (kelių transporto atveju – lankstumą, geležinkelių – masto ekonomiją) pasiekiamas transporto sąnaudų ir kelionės laiko balansas.

Šiuo metu intermodalinis transportas yra konkurencingas konteinerių vežimuose į/iš uostus ir tais atvejais, kai kelių transportui iškyla geografinių apribojimų. Tačiau pagrindinė intermodalinio transporto konkurencingumo problema yra ta, kad jis nepatrauklus vežimams trumpais bei vidutiniais atstumais, kuriais generuojamos didžiausios krovinių srautų apimtys. Intermodalinio transporto sėkmingas naudojimas ilguose atstumuose yra argumentuotas daugelio mokslinių tyrimų.

ninkų. Siūloma kelių transportą keisti į geležinkelių esant 600–900 km vežimų nuotoliams (Janic 2007; Kling, Berg 1998; Mc Calla 1999). Be to, turi būti užtikrintos didelės krovinių apimtys abiem kryptim bei teikiamų paslaugų dažnumas (Woxenius 1998).

Vis dėlto visuomenės rūpestis transporto sistemos keliamomis aplinkos taršos problemomis verčia naudoti priemones, skirtas perkelti dalį krovinių iš kelių transporto į alternatyvias transporto rūšis. Jau nuo 1975 m. ES transporto politika skatina krovinių perkėlimą iš kelių į geležinkelių ar vandens transporto rūšis. Šios politikos motyvacija buvo ir vis dar išlieka visos transporto sistemos gamtosauginių bei saugumo rodiklių pagerinimas (White Paper 2001, White Paper 2011). Siekiant konkurencingos ir efektyvaus išteklių naudojimo transporto sistemos vienas iš naujausių ES transporto politikos tikslų yra iki 2030 m. pasiekti, kad 30 proc. daugiau kaip 300 km keliais vežamų krovinių būtų gabenami kitų rūšių transportu (iki 2050 m. šis skaičius turėtų viršyti 50 proc.) (White Paper 2011). Tai žadama įgyvendinti kuriant atitinkamą ekologiškų krovinių vežimo koridorių infrastruktūrą, kurie būtų patrauklūs dėl patikimumo, nedidelių spūsčių ir nedidelių eksploatavimo bei administravimo sąnaudų.

Daugiausiai transporto plėtra priklauso nuo politinių skatinimo priemonių ir veiklos sąlygų, sukurtų Europos bendrijos ir nacionalinės valdžios institucijų. Intermodalinio transporto plėtra remiasi ES direktyvomis 92/106/EC ir 96/53/EC, kurios reglamentuoja specialius apribojimus kelių transporto priemonėms ir apibrėžia šias intermodalinių vežimų skatinimo bei palaikymo priemones (UIRR 2010, Vasilis Vasiliauskas 2004):

1. Atleidimas nuo kelių mokesčių ir draudimo dirbti tam tikromis dienomis. Sutinkamai su ES direktyva 92/106/EC kelių transporto priemonės, dirbančios pradinėje ir galinėje intermodalinio transporto grandinės dalyje, turėtų būti visiškai arba iš dalies atleistos nuo mokesčių už kelius bei draudimų dirbti švenčių dienomis ir savaitgaliais.

2. Pakrautos kelių transporto priemonės svorio limito padidinimas. Sutinkamai su ES direktyva 96/53/EC dėl kontenerių naudojimo kelių transporto priemonių, dalyvaujančių pradinėje ir galinėje intermodalinio transporto grandinės dalyje, maksimalus svoris gali būti padidintas iki 44 t. Šis privalumas suteikia konkurencinį pranašumą tose šalyse, kuriose keliams nustatytas 40 t bendro kelių transporto priemonės svorio limitas.

Apžvelgtų direktyvų įgyvendinimas nėra privalomas, todėl daugelyje valstybių jų taikymas skiriasi.

Intermodalinio transporto skatinimui taip pat skiriamos finansinės priemonės. Pirmoji iš jų buvo PACT programa (angl. *Pilot Action for Combined Transport*), vykdyta 1997–2001 metais. Pagrindiniai programos uždaviniai buvo padidinti kombinuoto transporto konkurencingumą kainos ir paslaugų kokybės atžvilgiu bei skatinti pažangias technologijas.

PACT programą tęsė Marco Polo programa, vykdyta 2003–2006 metais. Pagrindinis Marco Polo programos tikslas – perkelti krovinių srautus iš kelių transporto į kitų rūšių (geležinkelių, jūrų, vidaus vandenų) transportą, kad kelionės nuotolis keliais būtų kiek galima trumpesnis. Kaip ir PACT, Marco Polo programa buvo nukreipta į komerciškai orientuotų paslaugų transporto rinkoje skatinimą ir neskirta infrastruktūros vystymo projektams finansuoti.

Poreikį tęsti šią programą lėmė sparčiai augantis tarptautiniais automobilių keliais vežamų krovinių srautas, be to buvo matomas akivaizdus poreikis remti intermodalinio transporto plėtrą ir kaimyninėse ES šalyse. Todėl Europos Komisija pasiūlė didesnės aprėpties programą Marco Polo II, kuri numatyta vykdyti 2007–2013 metais. Ši programa nuo pirmosios skiriasi dviem aspektais – papildomai įtraukti dviejų tipų finansuojami veiksmai ir išplėsta geografinė teritorija (Barysienė 2008).

Finansinės paramos programos yra esminė transporto politikos sudedamoji dalis, kuriomis siekiama pagerinti transporto sistemos aplinkosaugos veiksmingumą ir plėtoti įvairiarūšių transportą, taip prisidedant prie veiksmingos ir tvarios transporto sistemos plėtros (Barysienė 2008; Barysienė, Speičytė 2008; Barysienė, Speičytė 2009).

Intermodalinio transporto svarbą atskleidžia ir pastebimai augantys intermodalinių transporto vienetų srautai. Analizuojant pasaulines vežimų apimtis pastebėtina, kad per paskutinį dvidešimtmetį konteinerių vežimai jūrų transportu išaugo daugiau kaip penkis kartus (UNCTAD 2010), tuo tarpu ITV vežimai Europos žemyne – beveik pustrėčio karto (UIRR 2011). Kadangi ekonominė padėtis valstybėse kinta, kaip plėtosis intermodaliniai vežimai ateityje prognozuoti sudėtinga. Tačiau dėl globalizacijos procesų ir laisvos prekybos tarp ES šalių, transporto paslaugų apimtys auga ir tai sudaro prielaidas intermodalumui plėtotis (Vasilis Vasiliauskas *et al.* 2009; Vasilis Vasiliauskas, Barysienė 2008b,c).

Tačiau pagrindinė sąlyga, kad intermodalinis transportas būtų veiksmingas, reikia, jog transporto infrastruktūros valdytojai terminalus jungtų į efektyvų perkrovimo taškų tinklą, kurį sudarytų universalūs, bet skirtingo pajėgumo terminalai, kadangi terminalas yra mazginis intermodalinio transporto tinklo taškas ir jo veiklos efektyvumas veikia visą intermodalinių krovinių vežimo grandinę. Terminalo nesugebėjimas laiku aptarnauti krovinius gali sutrikdyti viso krovinių vežimo proceso veiklą. Dėl to labai svarbu išanalizuoti jų darbo principus bei kasdieninėje veikloje sprendžiamas problemas ir surasti veikos tobulinimo būdus, užtikrinančius optimalų ITV aptarnavimą.

1.2. Intermodalinių terminalų koncepcija ir reikšmė

Bendrajai prasme terminalas – tai vieta su atitinkama infrastruktūra ir superstruktūra kroviniams perkrauti tarp dviejų ar daugiau transporto rūšių (Vasilis Vasiliauskas, Kabashkin 2006), tuo tarpu intermodalinis terminalas yra toks terminalas, kuriame perkraunami intermodaliniai transporto vienetai (Mocuta, Ghita 2007; Ballis, Golias 2002). Daugelis intermodalinių terminalų Europoje veikia kaip daugiafunkciniai centrai, kuriuose atliekamos tiek terminalo, tiek ir su jo veikla susijusios pagalbinės paslaugos (Meidutė 2005). Nors intermodaliniai terminalai skiriasi savo tipu (Roso *et al.* 2009; Woxenius 2007), dydžiu ar išdėstymu (Petering, Murty 2009; Petering 2009; Lee, Kim 2010; Golbabaie *et al.* 2010) iš esmės jų veiklos principas yra tas pats – suteikti visas intermodalinio transporto vieneto aptarnavimo operacijas siekiant perkrauti jį tarp skirtingų transporto rūšių, taip užtikrinant veiksmingą intermodalinio transporto grandinės veiklą ir tuo pačiu pasiekiant bendrą transporto išlaidų, transporto grūsčių kelių tinkle ir aplinkos taršos sumažėjimą (Nathanail 2007).

Konteinerių terminalas jūrų uoste – tai vieta, kurioje įrengtos konteinerinių laivų prieplaukos ir jose iškraunami atvykę konteineriai bei pakraunami išvyksiantys konteineriai. Tokiu būdu konteinerių terminalas tarnauja kaip sąsaja tarp vandens ir sausumos transporto, bei atlieka šias pagrindines funkcijas:

- priima eksportuojamus konteinerius ir pakrauna juos į laivą, bei priima importuojamus konteinerius ir atiduoda juos gavėjams;
- laikinai sandėliuoja konteinerius, perkraunamus tarp vandens ir sausumos transporto rūšių (Murty *et al.* 2005).

Taip pat terminaluose yra atliekamos perkrovimo operacijos tarp skirtingų laivų, laikinai juos sandėliuojant aikštelėje (Nishimura *et al.* 2009).

Uostų konteinerių terminalai yra svarbi visos konteinerių transportavimo grandinės dalis, kadangi juose atliekami laivų krovos, konteinerių saugojimo, priėmimo ir išdavimo darbai, renkama svarbi informacija apie laivų judėjimo grafikus ir duomenys apie kelių transporto situaciją, prognozuojamas konteinerių poreikis ir pasiūla (Paulauskas *et al.* 2001).

Kai kurie mokslininkai tvirtina, kad konteinerių terminalas lemia ne tik uosto efektyvumą, bet ir yra svarbus veiksnys šalies tarptautiniam konkurencingumui (Parola, Sciomachen 2005). Kasmet sparčiai augant konteinerių srautų apimtims, jūrų uostų veiklos efektyvumo ir našumo didinimas tapo daugelio valstybių strategine užduotimi plėtros kontekste. Dėl šios priežasties konteinerinių uostų veikla nuolat analizuojama tiek ir tyrėjų iš mokslinės, tiek ir ekspertų iš praktinės veiklos pusės siekiant optimizuoti konteinerių aptarnavimo operacijas taip didinant uostų produktyvumą (Wu, Goh 2010).

Išsamūs mokslininkų tyrimai buvo atlikti siekiant nustatyti uostų efektyvumo lygį. Cullinane ir Wang (2006) įvertino 69 Europos uostų lyderiaujančių

konteinerių terminalų efektyvumą pagal atkiras valstybes ir nustatė, kad veiksmingiausiai savo pajėgumus išnaudoja Didžiosios Britanijos uostų terminalai. Cullinane ir Song (2006), Wang ir Cullinane (2006) Europos uostų sąrašą papildė, tačiau pagal efektyvumą lyderiaujančiais uostais išliko tie patys. Europos uostų efektyvumo vertinimus taip pat atliko Liu (2010), Trujillo ir Tovar (2007), Barros (2006), Barros ir Athanassiou (2004).

Daugiausiai tyrėjų dėmesio sulaukė Azijos regionas. Cullinane su bendraautoriais atliko 15 Azijos uostų veiklos efektyvumo vertinimą (Cullinane *et al.* 2002) bei Jungtinės Karalystės ir Korėjos konteinerių terminalų palyginamąją studiją (Cullinane, Song 2003). Korėjos konteinerių terminalų veiklą taip pat nagrinėjo Park (2005). Šiaurinės Rytų Azijos uostų tyrimus atliko So *et al.* (2007), pagal kurių rezultatus nustatyti reitingai produktyviausių regiono uostų. Liu *et al.* (2008) atliko išsamią Kinijos uostų analizę ir įrodė, jog patys efektyviausi konteinerių terminalai yra didžiausiuose Šanchajaus ir Šenzeno uostuose. Lee (2005) ir Ng, Lee (2007) savo tyrimų objektu pasirinko Malaizijos uostus. Naujausi Azijos regiono uostų veiklos tyrimai parodė, jog apie 70 proc. pagrindinių konteinerių terminalų pilnai neišnaudoja savo techninių galimybių (Munismy, Singh 2010).

Nemažai mokslo tiriamųjų darbų atlikta ir kituose pasaulio regionuose: Al-Eraqi *et al.* (2008) įvertino 22 jūrų uostus, esančius Artimuosiuose Rytuose ir Rytų Afrikoje, kurių veiklos rezultatai parodė, jog mažesni uostai efektyvesni už didžiuosius; Turner *et al.* (2004) išnagrinėjo Šiaurės Amerikos uostų našumą 1984-1997 metų laikotarpiu, tuo tarpu Le-Griffin ir Murphy (2008) palygino vakarinės pakrantės uostų veiklos našumą su kitais pagrindiniais JAV ir pasaulio uostais; Gonzalez ir Trujillo (2008) įvertino Ispanijos uostų veiklos efektyvumo raidą 1990-2002 metų laikotarpiu; Tongzon (2001) atliko Australijos uostų efektyvumo palyginimą su kitais didžiaisiais pasaulio uostais.

Vieni autoriai uosto veiklos tobulinimą nagrinėja įgyvendinus institucines reformas ir tvirtina, kad valstybinių uostų paslaugų kokybė, darbo našumas ir konkurencingumas sėkmingai pagerinami nuosavybės teisę perleidus privačiam sektoriui (Cullinane *et al.* 2002; Cullinane *et al.* 2005a; Tongzon, Heng 2005; Cheon *et al.* 2010). Kiti mokslininkai uostų terminalo efektyvumą vertina pagal esamą darbo jėgą (Gonzales, Trujillo 2008; Barros, Athanassiou 2004) ar jai skirtas išlaidas (Martinez-Budria *et al.* 1999). Tačiau daugumos mokslininkų nuomone uosto efektyvumą lemia infrastruktūros bei superstruktūros pajėgumai ir jie vertina tokius kriterijus kaip terminalo plotas, prieplaukų skaičius, laivų-vilkikų skaičius (Tongzon 2001), krantinės ilgis, įvairios terminalo krovos įrangos skaičius (Wang *et al.* 2003; Cullinane *et al.* 2005b; Kaisar *et al.* 2006; Cullinane, Wang 2006; Al-Eraqi *et al.* 2008; Wu, Goh 2010 ir kt.), sandėliavimo pajėgumai (Liu 2010) ir kt. Visi aptarti ir kitų mokslininkų siūlomi konteinerių uostų efektyvumo vertinimo kriterijai išvardinti 1.1 lentelėje.

1.1 lentelės pabaiga

[illegible]

Apibendrinant išanalizuotą mokslinę literatūrą galima teigti, jog esminės efektyvaus uosto konteinerių terminalo funkcionavimo prielaidos yra:

- pakankamas terminalo plotas;
- tinkamai parinkta technologija.

Uostų veiklos efektyvumo lygį apibūrinančiais rodikliais gali būti aptarnautų laivų skaičius (Al-Eraqi *et al.* 2008), laivų aptarnavimo rodiklis, įvertinantis kiek konteinerių iškrauta ir pakrauta į laivą per valandą (Tongzon 2001), bendra krovinių apyvarta (Gonzales, Trujillo 2008), kranų produktyvumo rodiklis ir krantinės panaudojimo rodiklis (Le-Griffin, Murphy 2008). Tačiau beveik visi mokslininkai teigia, jog tiksliausiai uostų efektyvumo lygį nurodo aptarnautų konteinerių skaičius.

1.3. Konteinerių terminalo veikla

Dėl vis stiprėjančios konkurencijos terminalų operatoriai privalo užtikrinti paslaugų kokybės gerinimą, sąnaudų mažinimą, krovinių pralaidumo didinimą. Atsižvelgiant į augantį spaudimą nemažai mokslininkų pastangų skiriama ieškant priemonių ir metodų siekiant optimizuoti terminalo operacijas. Dėl šios priežasties ypatingą reikšmę terminalų veiklos valdyme yra įgavę operacinių tyrimų metodai. Išsamias apžvalgas šioje srityje yra atlikę Meersmans ir Dekker (2001), Vis ir de Koster (2003), Steenken *et al.* (2004), Gunter ir Kim (2006), Vacca *et al.* (2007), Stahlbock ir Voß (2008a, b). Pagrindinis dėmesys yra skiriamas terminalo veiklos organizavimui ir kontrolei (Crainic, Kim 2007). Tai yra esminis terminalo valdymo tikslas, padedantis tobulinti veiksmus ir strategijas, užtikrinančius optimalią veiklą (Beškovnik, Twrdy 2010).

Pagrindiniai terminalo veiklos planavimo sprendimai yra:

1. Prieplaukų paskyrimas atvykstantiems laivams

Teisingas prieplaukų paskyrimas sumažina laivų laukimo laiką ir padidina prieplaukų bei krantinės kranų panaudojimą (Murty *et al.* 2005). Priimant sprendimus dėl prieplaukų paskyrimo atsižvelgiama į krantinės išdėstymą ir laivų grupę, kurie turi būti aptarnauti planuojamu laikotarpiu. Prieplaukos paskyrimą lemia laivo gabaritai, planuojamas atvykimo laikas ir prognozuojama krovos trukmė (Bierwirth, Meisel 2010). Pagal tai galima išskirti du apribojimų tipus, į kuriuos privaloma atsižvelgti paskirstant prieplaukas atvykusiems laivams. Tai ribojimai laiko ir erdvės atžvilgiu, kas reiškia, kad visi laivai turi būti prišvartuoti krantinės ribose ir jie negali užimti tos pačios prieplaukos tuo pačiu metu. Pagal apribojimus erdvės atžvilgiu prieplaukų paskyrimo problema skiriama į diskrečiąją arba nepetraukiamą (kai krantinė padalinta į prieplaukas arba ne) (Imai *et al.* 2005), pagal apribojimus laiko atžvilgiu ši problema skiriama į dinaminę arba statinę (kai laivų atvykimo yra nustatytas arba ne) (Imai *et al.* 2001). Mokslinėje

literatūroje prieplaukų paskyrimo problema yra analizuojama esant skirtingoms aplinkybėms. Dauguma mokslininkų krantinių paskyrimo modelį sudarė esant griežtai apibrėžtomis sąlygomis, kai krantinėje laivui paskiriama konkreti prieplauka ir nustatytas tikslus atvykimo laikas įvertinus aptarnavimo trukmę (Hansen, Oguz 2003; Monaco, Sammarra 2007; Imai *et al.* 2003; Theofanis *et al.* 2007a), aptarnavimo išlaidas (Hansen *et al.* 2008), tikėtiną laivo vėlavimo laiką (Galias *et al.* 2006; Imai *et al.* 2007), atsižvelgiant į laivo matmenis ir grimzlę (Han *et al.* 2006; Zhou *et al.* 2006) ar reikiamą krantinės kranų skaičių laivui aptarnauti (Imai *et al.* 2008a; Liang *et al.* 2009). Taip pat pasiūlyti modeliai, kai laivui priskiriama prieplauka neapibrėžiant jo atvykimo laiko ir neribojant aptarnavimo trukmės (Imai *et al.* 2008b; Hansen, Oguz 2003). Nemažai studijų atlikta kai krantinė nėra suskirstyta į atkiras prieplaukas ir laivai gali prisišvartuoti bet kurioje jos vietoje paskirtu laiku atsižvelgiant aptarnavimo trukmę (Guan, Cheung 2004; Wang, Lim 2007; Kim, Moon 2003; Lee *et al.* 2010) ar reikiamą krantinės kranų skaičių (Meisel, Bierwirth 2009; Hendriks *et al.* 2008, 2010; Legato, Mazza 2001). Tačiau yra atlikta tyrimų ir esant neapibrėžtomis sąlygoms (Han *et al.* 2010; Zhen *et al.* 2011). Esminis pasiūlytų modelių tikslas yra suteikti operatyvias laivų aptarnavimo paslaugas siekiant sumažinti suminį laivų laukimo ir aptarnavimo laiką.

2. Krantinės kranų priskyrimas prisišvartavusiems laivams

Optimalaus krantinės kranų skaičiaus nustatymas sumažina laivų aptarnavimo trukmę ir tuo pačiu padidina terminalo pralaidumą (Murty *et al.* 2005). Krantinės kranų priskyrimo problema traktuojama kaip tikslaus krantinės kranų skaičiaus nustatymas laivui aptarnauti, atsižvelgiant į konteinerių, kurie turi būti iškrauti ir pakrauti, skaičių per nustatytą laiko periodą (Legato *et al.* 2008). Atsižvelgiant į realaus laiko situaciją esant poreikiui kranai gali būti perkeliama nuo vieno laivo prie kito, tačiau turi būti įvertinta aplinkybė, kad jie negali pravažiuoti vienas pro kitą (Bierwirth, Meisel 2010). Pagrindinis krantinės kranų priskyrimo planavimo tikslas yra sumažinti kranų produktyvumo nuostolius sumažinus kranų skaičių aptaraujant vieną laivą ir kranų perkėlimus tarp skirtingų laivų. Kadangi kranų priskyrimo sprendimai tiesiogiai įtakoja laivo aptarnavimo trukmę, dėl šios priežasties kranų priskyrimo sprendimai paprastai įtraukiami į prieplaukų planavimo modelius (Raa *et al.* 2011; Chang *et al.* 2010; Zhang *et al.* 2010b; Giallomardo *et al.* 2010; Zhou, Kang 2008 ir kt.).

3. Krantinės krano darbo planavimas

Kiekvienam krantinės kranui yra sudaromas individualus laivo aptarnavimo darbo planas, kuriame nurodyta krovo operacijų seka ir laiko tvarkaraštis. Informacijos duomenis sudaro laivo sukrovimo planas, kiekvieno konteinerio vietos planas ir kiekvieno krano pasiruošimo darbui laikas (Tavakkoli-Moghaddam *et al.* 2009). Pagrindinis plano sudarymo tikslas yra nustatyti konteinerių iškrovimo iš laivo ir pakrovimo į laivą operacijų seką taip, kad bendra laivo aptarna-

vimo trukmė būtų minimali (Meisel, Bierwirth 2011). Dažniausiai krantinės kranų darbo planas yra sudaromas vienai konteinerių sekcijai neįvertinant kranų judėjimo prie kitų sekcijų (Zhu, Lim 2006; Lim *et al.* 2004 a,b; 2007; Lee *et al.* 2008 a,b; Liu *et al.* 2006) arba konteinerių grupei, kai atsižvelgiama į kranų judėjimą bei kitas jo savybes (Kim, Park 2004; Moccia *et al.* 2006; Sammarra *et al.* 2007; Bierwirth, Meisel 2009; Chen *et al.* 2011).

Naujausi tyrimai yra skirti dvigubo kranų ciklo operacijų galimybėms įvertinti. Skirtingai nuo įprastinio vieno ciklo metodo, kai visi konteineriai prieš pakraunant kitus turi būti iškrauti, dvigubo ciklo metodo atveju konteineriai yra iškraunami ir pakraunami per tą patį kranų darbo ciklą. Pirmą kartą šį metodą taikyti pasiūlė Goodchild ir Daganzo (Goodchild 2005; Goodchild, Daganzo 2006). Mokslininkai įrodė, kad naudojant dvigubo ciklo metodą operacijų trukmę galima sumažinti iki 10 proc., taip padidinant kranų bei priekabų panaudojimo našumą (Goodchild, Daganzo 2007). Jų tyrimus pratęsė Zhang ir Kim (2009), kurie išnagrinėjo dvigubo ciklo taikymą konteineriams, esantiems laivo triume. Metodo privalumas tas, kad dvigubo ciklo realizacija nereikalauja investicijų papildomai krovos įrangai.

4. Sandėliavimo vietos paskyrimas

Teisingas sandėliavimo vietos paskyrimas atvykusiems konteineriams sumažina konteinerių perstatymų skaičių ir tuo pačiu vilkikų grūstis terminalo viduje (Murty *et al.* 2005). Eismo grūstys terminale atsiranda tuomet, kai vienoje vietoje tuo pačiu metu susikaupia didelis darbo krūvis (Lee *et al.* 2006). Siekiant išvengti šios problemos, vietos priimamiems konteineriams aikštelėje turi būti paskirstytos iš anksto taip, kad mažame plote nesikonzentruotų didelės aptarnaujamų konteinerių apimtys. Didžiausias mokslininkų dėmesys skiriamas eksportuojamų konteinerių paskirstymui aikštelėje (Zhang *et al.* 2009; Chen, Chao 2004). Vienos konteinerių paskirstymo strategijos sudarytos atsižvelgiant į konteinerių svorį bei minimalų perstatymų skaičių (Kim *et al.* 2000; Kim *et al.* 2003; Zhang *et al.* 2010a; Chen, Lu 2010), kitos – atsižvelgiant į trumpiausią atstumą nuo sandėliavimo vietos iki atitinkamo laivo priekabos (Kim, Park 2003; Zhang *et al.* 2003). Galima pastebėti, kad praktikoje dažniausiai yra naudojama konteinerių paskirstymo pagal paskirties uostą ir išsiuntimo laiką strategija.

Zhao ir Goodchild (2010) teigimu, viena iš priemonių, padedanti sumažinti konteinerių perstatymų skaičių, gali būti išankstinis klientų pranešimas apie vilkiko atvykimo laiką.

5. Horizontalaus transporto valdymas

Horizontalus transportas terminale skirstomas į dvi grupes – terminalo transportą ir klientų transportą. Terminalo transporto valdymo tikslas yra pasiekti minimalią iškraunamų konteinerių gabenimo nuo krantinės iki sandėliavimo aikštelės trukmę (Cao *et al.* 2008), į kurią įskaičiuojamas ir priemonės laukimas

prie krantinės kranų bei aikštelės kranų (Kim, Kim 1999). Terminalo transporto darbo planavimas dažniausiai paremtas metodu „vienam kranui orientuotas“. Tačiau siekiant pagerinti vilkikų panaudojimą vis didesnis dėmesys mokslinėje literatūroje yra skiriamas metodui „keliems kranams orientuotas“ (Zeng *et al.* 2009). Pagal šį metodą vilkikai aptarnauja ne vieną krantinės kraną, o paskirstomi tarp kelių pagal realaus laiko poreikius. Tokiu būdu galima sumažinti vilkikų tuščiąją ridą ir taip padidinti jų panaudojimą bei terminalo operacijų efektyvumą. Nishimura *et al.* (2005) atliktų tyrimų rezultatai įrodė, jog dinaminis maršrutų planavimas bendrąsias vilkikų parko išlaidas sumažina iki 15 proc.

Klientų transporto valdymo tikslas yra pasiekti minimalią jų judėjimo terminale trukmę. Tuo tikslu yra automatizuojamos vartų operacijos, išsigyjama daugiau aikštelės kranų, tobulinami darbo metodai. Tačiau siekiant sumažinti vilkikų terminale laiką, pirmiausiai turi būti sumažinta laukimo sandėliavimo aikštelėje trukmė, kuri užima didžiąją dalį buvimo terminale laiko (Kim *et al.* 2003). Todėl pagrindinis tyrimų tikslas yra nustatyti optimalią vilkikų aptarnavimo seką, kai jų atvykimo laikas iš anksto nežinomas. Kim *et al.* (2003) išnagrinėjo įvairius sekos metodus siekiant maksimaliai sumažinti atvykusių vilkikų aptarnavimo užlaikymą. Tyrimų rezultatai parodė, jog geriausius veiklos rezultatus pasiekia „trumpiausio aptarnavimo laiko“ metodas, kurį naudojant nustatyta trumpiausia vilkikų aptarnavimo trukmė, mažiausias laukiančių vilkikų skaičius, trumpiausias kranų judėjimo atstumas ir minimalios aptarnavimo išlaidos.

6. Aikštelės kranų darbo planavimas

Aikštelės operacijų efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo aikštelės ūžinių kranų našumo. Aikštelės kranų darbo našumo koeficientas yra 30 proc. mažesnis už krantinės kranų (Li *et al.* 2009), dėl to aikštelėje dažnai susidaro grūstys. Tinkamai suplanuotas aikštelės kranų darbas gali sutrumpinti klientų vilkikų aptarnavimo trukmę, sumažinti egergijos suvartojimą terminaluose, laivų aptarnavimo trukmę ir padidinti bendrą terminalo operacijų efektyvumą (Yan *et al.* 2011).

Kranų darbo planavimas skirstomas į du etapus. Pirmuoju etapu siekiama iš anksto nustatyti kranų dislokacijos vietą, antruoju – sudaryti konteinerių krovos operacijų seką.

Kranų išsidėstymo aikštėje sprendimo tikslas yra iš anksto numatyti laiką ir kranų judėjimo tarp sektorių maršrutą taip, kad bendra darbų uždelsimo trukmė būtų minimali (Zhang *et al.* 2002), kadangi aikštelės kranų perstatymas iš vieno sektoriaus į kitą užima apie 10 minučių ir dar ilgiau trunka, jei judėjimo maršrute numatytas 90° kranų apsisukimas (Linn *et al.* 2003). Dėl to kranai gali judėti tik vieną kartą per kiekvieną 4 valandų darbo laikotarpį (Linn *et al.* 2003).

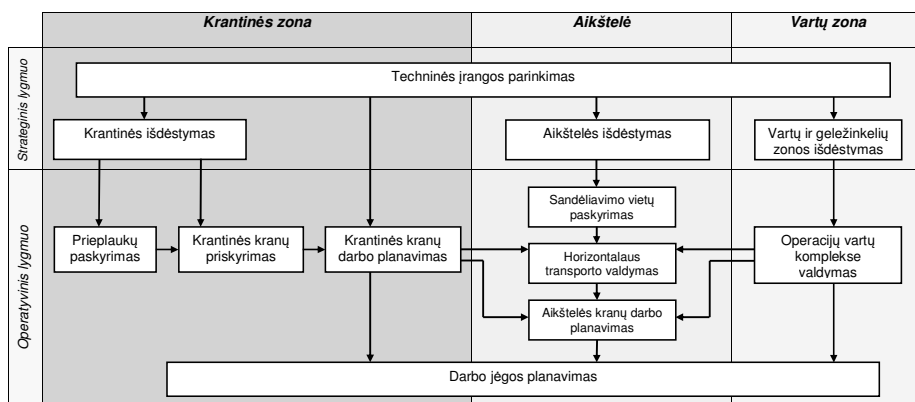
Didesnis dėmesys mokslinėje literatūroje skiriamas aikštelės kranų darbo planavimui. Tyrimai paskirti modelių sudarymui, kurie padėtų nustatyti racionalią krovos operacijų seką siekiant, kad būtų sumažinta bendra visų operacijų trukmė (Ng, Mak 2005), laivo aptarnavimo (Kim, Park 2004; Bish 2003), vilki-

kų laukimo (Guo *et al.* 2011) ir aptarnavimo (Ng 2005) trukmė, konteinerių paieškos (Li *et al.* 2009) ir darbų uždelimo trukmė (Chang *et al.* 2011), kranų judėjimas tarp sektorių (He *et al.* 2010).

7. Darbo jėgos planavimas

Darbo jėgos planavimas apima įrangos eksploatavimo grafiko sudarymą ir užduočių paskirstymą operatoriams, atsižvelgiant į tokius reikalavimus, kaip maksimali darbo laiko trukmė, minimali poilsio laiko trukmė, operatorių tinkamumas dirbti su tam tikro tipo įranga ir pan. Pagal Kim *et al.* (2004) atliktą tyrimą nustatyta, jog praktiškai ši problema gali būti išsprendžiama per trumpą laiką. Tačiau pripažinta, kad konteinerių terminaluose atliekamos operacijos yra priskiriamos prie vienu iš pavojingiausių operacijų paslaugų pramonėje (Lu, Yang 2010; Fabiano *et al.* 2010), todėl organizuojant žmogiškųjų išteklių darbą, privalu užtikrinti saugią aplinką (Lu, Shang 2005).

Kaip matyti, egzistuoja eilė operatyvinės terminalo veiklos planavimo problemų, kurias galima suskirstyti pagal atskiras terminalo zonas (1.1 paveikslas) (Bierwirth, Meisel 2010; Cao *et al.* 2008).



1.1 pav. Sprendimai, priimami konteinerių terminale

Fig. 1.1. Issues of the container terminal

Šaltinis: Bierwirth, Meisel 2010

Tačiau esminės konteinerių terminalų veiklos planavimo klaidos daromos dar ankstyvuose jų projektavimo ir darbų organizavimo etapuose. Pagrindinės iš jų yra blogas terminalo išdėstymas ir netinkamas krovyne įrangos bei konteinerių aptarnavimo sistemos parinkimas, kas lemia nepakankamą krovyne darbų pajėgumą ir dideles grūstis terminale (Paulauskas *et al.* 2001).

1.4. Techninė įranga, naudojama uosto konteinerių terminaluose

Konteinerių aptarnavimo operacijų efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo terminalo techninės įrangos našumo. Tradicinę krovos įrangą uosto konteinerių terminaluose sudaro krantinės kranai, aikštelės kranai, ožiniai ir konteineriniai krautuvai, o konteinerių transportavimo tarp terminalo zonų – terminalo vilkikai (Stahlbock, Voß 2008a,b; Gunter, Kim 2006; Vis 2006; Steenken *et al.* 2004).

Krantinės kranai (angl. *quay crane*) – tai ožiniai kranai, skirti konteinerius iškrauti iš laivų ir pakrauti į juos.

Aikštelės kranai yra skirti konteinerius aptarnauti sandėliavimo zonoje ir skirstomi į du tipus:

a) ožiniai kranai su guminėmis padangomis (angl. *rubber tyred gantry* – RTG). Tai dažniausiai uostų terminaluose naudojama krovos įranga, aptarnaujanti konteinerius sandėliavimo aikštelėje, kadangi jų panaudojimas yra lankstesnis nei ožinių kranų, judančių geležinkelio bėgiais.

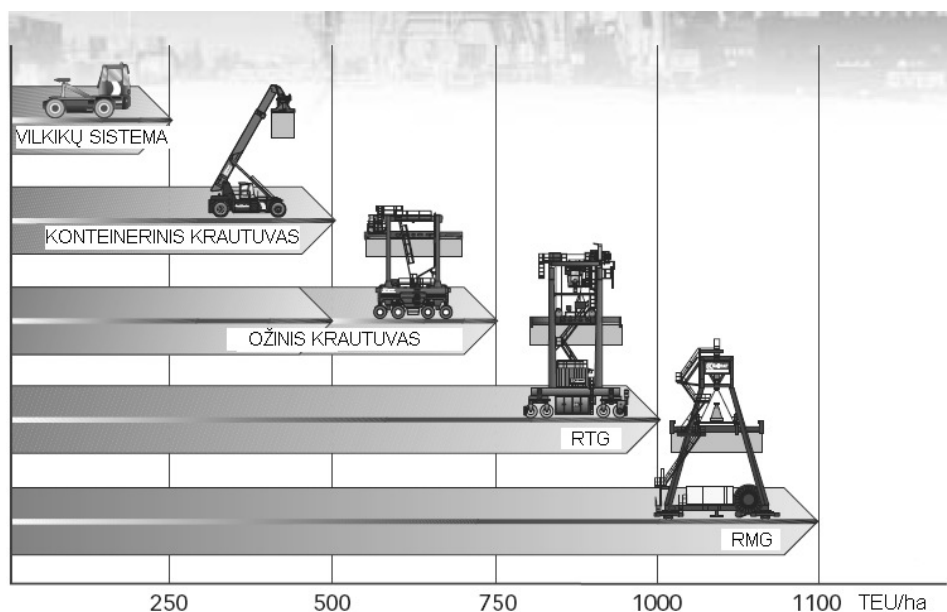
b) ožiniai kranai, judantys jiems skirtais geležinkelio bėgiais (angl. *rail mounted gantry* – RMG). Šie kranai paprastai naudojami bimodaliniame kelių-geležinkelio terminale ir įrengti taip, kad galėtų aptarnauti ir sandėliavimo aikštelę, ir automobilių kelius tuo pačiu metu.

Aikštelės kranų pranašumas lyginant su kitomis konteinerių aptarnavimo sistemomis yra tas, kad konteinerius saugojimo aikštelėje galima sustatyti maksimaliu šešių aukštų skaičiumi. Dėl to ši sistema leidžia maksimaliai išnaudoti terminalo plotą.

Mažesniuose terminaluose vietoje ožinių kranų yra naudojami ožiniai krautuvai (angl. *straddle carrier*) arba konteineriniai krautuvai (angl. *reach stacker*). Ožinių krautuvų pranašumas pasireiškia tuo, kad jais konteinerį galima pakelti nuo žemės, transportuoti ir pakrauti į sandėliavimo vietą. Šiuo atveju krantinės kranas konteinerius krauna tiesiai ant žemės, todėl tarpusavyje nereikia derinti krano ir transportavimo priemonės darbo. Konteineriniai krautuvai gali būti pritaikyti labai įvairiai – nuo galimybės įrangą naudoti kaip papildomą kraną krovos fronte iki galimybės įrangą naudoti kaip vienintelę ITV krovos įrangą terminale. Didžiausias konteinerinių krautuvų sistemos trūkumas yra prastas sandėliavimo aikštelės ploto panaudojamas, kadangi įrangos judėjimui tarp sektorių paliekami platūs pravažiavimo takai.

Konteinerių transportavimui terminalo viduje naudojami vilkikai su platforma, ant kurios gali būti pastatyti du TEU arba vienas FEU konteineris. Siekiant padidinti vilkikų panaudojimą ir darbo našumą, kai kuriuose terminaluose yra naudojama vilkiko su platformų sąstatu sistema (Vis, Koster 2003; Goussiatiner 2010).

Aprašytiems konteinerių aptarnavimo įrangos tipams būdingos skirtingos techninės ir technologinės charakteristikos. Atkreiptinas dėmesys į krovos priemonių sandėliavimo pajėgumus (1.2 paveikslas). Šis rodiklis parodo kiek TEU vienetų gali būti sandėliuojama vieno hektaro aikštelės plote. Didžiausius sandėliavimo pajėgumus suteikia ožiniai kranai – RTG kranas vieno hektaro sandėliavimo aikštelės plote gali sustatyti iki 1000 TEU, RMG kranas – iki 1100 TEU konteinerius kraunant keturiais aukštais. Ožinis krautuvas vieno hektaro sandėliavimo aikštelės plote gali sustatyti iki 750 TEU, konteinerinis krautuvas – iki 500 TEU konteinerius kraunant trimis aukštais. Vilkiko su platformų sąstatu sistema vieno hektaro aikštelės plote gali sutalpinti tik iki 250 TEU (Stahlbock, Voß 2008a).



1.2 pav. Sandėliavimo aikštelės pajėgumai aptarnaujant skirtingą įrangą

Fig. 1.2. Storage yard's capacity of the handling equipment

Šaltinis: Stahlbock, Voß 2008a

Apibendrintos krovos priemonių charakteristikos ir jų naudojimo sritys palyginimui pateiktos 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Krovos priemonių taikymo sritys**Table 1.2.** The scope of the usage of the handling equipment

Krovos priemonė	Paskirtis	Sandėliavimo pajėgumai	Naudojimo sritys
Ožinis kranas su guminėmis padangomis	Naudojamas konteinerių surovimui į sandėliavimo vietą ir transporto priemonių pakrovimui-iškrovimui	1000 TEU/ha konteinerius sustačius 4 aukštais	Dideliuose ir labai dideliuose terminuose, kai sandėliavimo plotai ir judėjimo atstumai dideli
Ožinis kranas, judantis specialiais bėgiais	Naudojamas konteinerių surovimui į sandėliavimo vietą ir transporto priemonių iškrovimui-pakrovimui	1 100 TEU/ha konteinerius sustačius 4 aukštais	Dideliuose ir labai dideliuose terminuose, kai sandėliavimo plotai ir judėjimo atstumai dideli
Ožinis krautuvai	Naudojamas visoms funkcijoms atlikti	750 TEU/ha konteinerius sustačius 3 aukštais	Vidutiniuose ir dideliuose terminuose
Konteinerinis krautuvai	Naudojamas konteinerių surovimui į sandėliavimo vietą ir transporto priemonių iškrovimui-pakrovimui, taip pat gali būti naudojamas transportavimui terminalo viduje trumpais atstumais	500 TEU/ ha konteinerius sustačius 3 aukštais	Mažuose ir vidutiniuose terminaluose
Vilkiko su platformų sąstatu sistema	Naudojama konteinerių transportavimui ir sandėliavimui	250 TEU/ha	Mažuose terminuose

Terminalo konteinerių aptarnavimo sistema gali būti sudaryta iš skirtingų priemonių derinių (Huang, Chu 2003, 2004; Paulauskas *et al.* 2001). Tačiau labai svarbu, kad visa terminale esanti techninė įranga dirbtų koordinuotai ir atskirų priemonių darbas būtų suderintas tarpusavyje; tik tokiu atveju įrangos pajėgumai būtų išnaudojami pilnai ir terminalo veikla taptų efektyvi (Zeng, Yang 2009). Chen *et al.* (2007), Cao *et al.* (2010a,b), Lau ir Zhao (2008) pasiūlė integruotus modelius, nustatančius atskirų konteinerių krovos bei transportavimo priemonių darbo tvarkaraščius. Modeliai skirti įrangos koordinavimui ir darbo suderinimui siekiant trumpiausios laivų aptarnavimo trukmės. Tuo tarpu šiame darbe siekiama trumpiausios konteinerių aptarnavimo trukmės, įvertinant terminale esančių techninių sistemų (priemonių) parametrus.

Terminalo įrangą analizuojantys mokslininkai pabrėžia jos svarbą aptarnaujant krovinių srautus. Intensyvi konteinerių apyvarta ir aukštas terminalo našumas gali būti pasiekti tik tinkamai parinkus technines aptarnavimo priemones ir teisingai nustačius reikiamą jų skaičių. Mokslininkai šį uždavinį siūlo spręsti

įvertinant įrangos pajėgumus. Abacoumkin ir Ballis (2004) teigia, kad techninės įrangos tipas parenkamas atsižvelgiant į terminalo srautų apimtį, priimamų intermodalinių krovos vienetų tipus, žemės kainą ir jos panaudojimą. Parinkus terminalo aptarnavimo įrangą apskaičiuojamas jos našumas ir taip gali būti nustatytas reikalingas priemonių skaičius. Vis (2006) išanalizavo ožinių krautuvų sistemos ir automatizuotų aikštelės kranų sistemos našumą. Rodiklius, įvertinančius įrangos produktyvumą, autorius pasiūlė bendrą priemonės judėjimo aptarnaujant krovos vienetą laiką, į kurį įskaičiuojamas pilnasis ir tuščiasis įrangos judėjimas, aptarnaujamo ITV pakėlimo trukmė bei kitų ITV perstatymo trukmė. Mocuta ir Ghita (2007) teigia, jog terminalo pajėgumas iš esmės priklauso nuo dviejų faktorių – krovinių aptarnavimo įrangos našumo bei geležinkelių krovos tako ilgio. Huang ir Chu (2004) pasiūlė modelį, pagal kurį galima nustatyti metinį konteinerių sandėliavimo aikštelės pajėgumą, priklausomai nuo joje dirbančios įrangos tipo.

Matematinį modelių, suteikiančių galimybę nustatyti terminalo techninį pajėgumą, įvairovė gana plati. Tačiau atlikus mokslinės literatūros, nagrinėjančios terminaluose dirbančią ITV aptarnavimo įrangą, analizę, nerasta konkrečių modelių, kurie leistų nustatyti kokio tipo įrangą terminale reikėtų pasirinkti. Egzistuoja lyg savaime suprantama nuomonė, kad mažuose terminaluose tikslinga naudoti krautuvų sistemas, o dideliuose – kranų sistemas. Tačiau mokslinio pagrindimo terminalo technologijos nustatymui nėra.

Konteinerių aptarnavimo technologijos parinkimo problema yra svarbi ne tik projektuojant naują terminalą, tačiau aktuali ir tuomet kai jau kurį laiką dirbančio terminalo techniniai pajėgumai pilnai išnaudojami ir ieškoma būdų pasiekti didesnę veiklos našumą.

1.5. Pirmojo skyriaus išvados

1. Atlikta mokslinės literatūros, nagrinėjančios konteinerių terminalų veiklos problemas, analizė parodė, jog pagrindinis mokslininkų dėmesys yra skiriamas konteinerių aptarnavimo operacijų organizavimui ir kontrolei, tačiau viena iš esminių terminalų veiklos planavimo klaidų yra netinkamai parinkta konteinerių aptarnavimo techninė sistema.

2. Terminalo konteinerių aptarnavimo sistema gali būti sudaryta iš skirtingos įrangos derinių. Nustatyta, kad didžiausius terminalo sandėliavimo pajėgumus suteikia ožinių kranų naudojimas, kurie vieno hektaro aikštelės plote gali sustatyti iki 1100 TEU (konteinerius kraunant keturiais aukštais). Ožinis krautuvų vieno hektaro sandėliavimo aikštelės plote gali sustatyti iki 750 TEU, konteinerinis krautuvų – iki 500 TEU (konteinerius kraunant trimis aukštais). Vil-

kiko su platformų sąstatu sistema vieno hektaro aikštelės plote gali sutalpinti tik iki 250 TEU.

3. Atlikus mokslinės literatūros analizę galima teigti, jog nėra konkretaus modelio, leidžiančio nustatyti kokią konteinerių aptarnavimo technologiją terminale tikslinga parinkti siekiant trumpiausios konteinerių aptarnavimo trukmės.

Daugiakriterinių sprendimų priėmimo metodų apžvalga

Skyriuje pateikta daugiakriterinio vertinimo metodų klasifikacija, išnagrinėti populiariausi sprendimų priėmimo metodai bei jų taikymas. Detaliau išanalizuotas darbe taikomas Copras-G (angl. *COmplex PROportional ASsesment of alternatives with Grey relations*) metodas. Skyriuje taip pat aprašytas vertinimo rodiklių reikšmingumų nustatymo metodas.

2.1. Sprendimų priėmimo metodai

Pastaruoju metu tiek teoriniams tyrimams atlikti, tiek praktiniams uždaviniams spręsti vis dažniau taikomas daugiakriterinis vertinimas. Tai sprendimų priėmimo priemonė, skirta spręsti sudėtingas daugiatiksles problemas, apimančias kiekybinius ir kokybinius aspektus. Daugiakriteriniam vertinimui atlikti taikomi įvairūs sprendimų priėmimo metodai, kurie pagal savo prigimtį yra gana universalūs ir juos taikant galima įvertinti bet kurį reikškinį, aprašytą daugeliu rodiklių.

Viena iš galimų sprendimų priėmimo metodų klasifikacija yra metodų skirstymas pagal turimos informacijos tipą. Pagal šią klasifikaciją metodai gali būti:

- 1) metodai, pagrįsti kiekybiniais matavimais (daugiakriterinės naudingumo teorijos metodai, pvz. SAW, VS, TOPSIS, VIKOR, MOORA, COPRAS);
- 2) metodai, pagrįsti kiekybiniais matavimais, kai naudojami keli indeksai alternatyvoms lyginti (lyginamosios pirmenybės metodai, pvz. ELECTRE, PROMETEE);
- 3) metodai, pagrįsti kokybiniais vertinimais, kurių rezultatai išreiškiami kiekybiniu pavidalu (analitinės hierarchijos metodai, pvz. AHP, ir metodai, paremti lošimų teorija bei neapibrėžta aibe);
- 4) metodai, pagrįsti kokybiniais matavimais, nepereinant prie kiekybinių kintamųjų (verbalinės analizės metodai).

Visos išvardintos metodų grupės yra sėkmingai taikomos sprendžiant civilinės, statybų ar transporto inžinerines problemas (Zavadskas *et al.* 2007a).

Kiekybiniai metodai vieni nuo kitų skiriasi savo sudėtingumu, tačiau visų taikymo principas yra panašus. Jį sudaro keturi pagrindiniai etapai:

- 1) lyginamų alternatyvų nustatymas;
- 2) rodiklių sistemos sudarymas ir rodiklių reikšmingumų nustatymas;
- 3) sprendimų priėmimo matricos sudarymas ir rodiklių reikšmių normalizavimas;
- 4) rodiklių skaitinių reikšmių apdorojimas, gautų rezultatų interpretavimas ir sprendimų priėmimas.

2.2. Rodiklių reikšmingumo nustatymo metodas

Rodiklių sistemos sudarymas yra sudėtingas procesas, kurio atlikimas reikalauja kruopštumo, kadangi kuo daugiau yra nustatoma rodiklių, tuo išsamiau yra aprašomos nagrinėjamos alternatyvos ir galima tikėtis tikslesnių rezultatų.

Daugelyje sprendimo priėmimo metodų rodikliams nustatomi santykiniai reikšmingumai, kurie parodo kiek vienas rodiklis yra svarbesnis už kitą. Nustatant rodiklių reikšmingumus dažniausiai taikomas ekspertinio vertinimo metodas. Šio vertinimo tikslas – žinių gavimo sisteminis organizavimas, gautos informacijos analizavimas, struktūrinis perdirstymas ir interpretavimas taikant loginius ir matematinius metodus. Šiuo metu nėra vieningos moksliskai pagrįstos ekspertinių metodų klasifikacijos ir vieningų jų taikymo rekomendacijų – vienais atvejais ekspertas dirba atskirai (toks metodas padeda išvengti žinomų autoritetų nuomonės įtakos), kitais atvejais ekspertai renkasi kartu ir aptaria problemą, įvertina išsakytus samprotavimus ir atmeta neteisingus. Bendru atveju ekspertinio vertinimo metodologija grindžiama prielaida, kad ekspertas yra sukaupęs didelį kiekį racionaliai apdorotos informacijos ir gali būti informacijos šaltiniu (Rudzkienė 2009).

Egzistuoja eilė skirtingų ekspertinio vertinimo metodų (Augustinaitis *et al.* 2009). Vienas populiariausių – apklausa anketavimo būdu. Tai standartizuotas metodas su griežtomis taisyklėmis. Rodiklių vertinimui anketoje gali būti pritaikyta bet kokia matavimo skalė. Apklausus ekspertus, gauti vertinimų rezultatai apdorojami statistiškai (Ustinovičius, Zavadskas 2004).

Pirmiausiai nustatomas ekspertinio vertinimo patikimumas. Jis išreiškiamas ekspertų nuomonių konkordancijos koeficientu, apibūdinančiu individualių nuomonių sutapimo laipsnį. Skaičiuojant šį koeficientą, suformuluojamos hipotezės: H_0 – ekspertų vertinimai prieštaringi; H_A – ekspertų vertinimai panašūs.

Metodą, padedantį išskirti nesuderinamus vertinimus, pirmasis pasiūlė M. Kendall'as (Augustinaitis *et al.* 2009). Kendall'o konkordancijos koeficientas ir iki šiol išliko dažniausiai taikomų suderinamumo kriterijų.

Jis apskaičiuojamas pagal formulę (Pukėnas 2009):

$$W = \left(\frac{F}{e(k-1)} \right) \left(\frac{e^2 k(k^2 - 1)/12}{e^2 k(k^2 - 1)/12 - e \Sigma T / 12} \right), \quad (2.1)$$

čia F – Friedman'o χ^2 statistika; e – imties dydis; k – kintamųjų skaičius; T – susijusių rangų rodiklis; kuris apskaičiuojamas:

$$\Sigma T = \sum_{i=1}^e \sum_{j=1}^k (t^3 - t), \quad (2.2)$$

čia t – kintamųjų su sutampančiais rangais per visus tiriamuosius skaičius.

Konkordancijos koeficientas gali kisti nuo 0 iki 1. Kai konkordancijos koeficientas nelygus 0, H_0 hipotezę galima atmesti ir teigti, kad ekspertų vertinimai panašūs; kai konkordancijos koeficientas lygus 0 – laikyti, kad ekspertai bendros nuomonės neturi.

Jeigu rodiklių skaičius pakankamai didelis ($k \geq 7$), konkordancijos koeficiento reikšmingumui tikrinti taikomas χ^2 kriterijus (Podvezko 2005). Friedman'o χ^2 kriterijaus statistika nusakoma formule (Pukėnas 2009):

$$\chi^2 = \frac{(12 / ek(k+1)) \sum_j C_j^2 - 3e(k+1)}{1 - \Sigma T / ek(k^2 - 1)}, \quad (2.3)$$

čia C_j – j kintamojo ($j = 1, 2, \dots, k$) rangų suma.

Jei χ^2 reikšmė didesnė nei χ^2_{lent} pagal lentelę, priklausanti nuo laisvės laipsnių skaičiaus ($f = k - 1$) bei priimto reikšmingumo lygmens α , ekspertų suderintų nuomonių hipotezė priimama. Priešingu atveju, kai $\chi^2 < \chi^2_{lent}$, teigiama, kad ekspertų nuomonės nesuderintos.

Nustačius, kad nulinė hipotezė atmetama ir anketavimo metodo rezultatai yra patikimi, galima apskaičiuoti vertinamų rodiklių reikšmingumus.

Vidutinė rodiklio įvertinimo reikšmė $\bar{t}_j$ nustatoma pagal formulę (Podvezko 2005):

$$\bar{t}_j = \frac{\sum_{r=1}^n t_{jr}}{e}, \quad (2.4)$$

čia t_{jr} – r eksperto atliktas j rodiklio įvertinimas; e – ekspertų skaičius.

Rodiklio reikšmingumas apskaičiuojamas rodiklių vidurkių sumą dalijant iš kiekvieno rodiklio vidutinės įvertinimo reikšmės:

$$q_j = \frac{\bar{t}_j}{\sum_{j=1}^k \sum_{r=1}^e t_{jr}}. \quad (2.5)$$

Visų rodiklių reikšmingumų suma turi būti lygi vienetui:

$$\sum_{j=1}^k q_j = 1,0. \quad (2.6)$$

Apskaičiuoti rodiklių reikšmingumai naudojami daugiakriterinio vertinimo skaičiavimams atlikti.

2.3. Sprendimų priėmimo metodų taikymas

Kiekybiniai sprendimų priėmimo metodai kiekybiškai įvertina kiekvieną alternatyvą ir nustato gautų dydžių skirtumus tarp vertinamų alternatyvų.

Pastebėtina, kad taikant kiekybinius daugiakriterinio vertinimo metodus nustatoma kokio pavidalo – maksimizuojamo ar minimizuojamo – yra kiekvienas rodiklis. Geriausios maksimizuojamų rodiklių reikšmės – didžiausios, geriausios minimizuojamų rodiklių reikšmės – mažiausios. Daugiakriterinio vertinimo privalumas yra tas, kad į vieną bendrinamąjį rodiklį sujungiami tiek maksimizuojantys, tiek minimizuojantys įvairiomis dimensijomis išreikšti rodikliai, t.y. tokie rodikliai, kuriems augant vienais atvejais nagrinėjamos alternatyvos situacija gerėja, kitais – blogėja. Toks jungimas įmanomas tik atlikus rodiklių normalizavimą, kai visi rodikliai yra paverčiami bedimensiais dydžiais. Tuomet tiek skirtingas reikšmės, tiek skirtingus matavimo vienetus turinčius rodiklius galima palyginti tarpusavyje. Rodiklių normalizavimo tvarka priklauso nuo pasirinkto metodo.

Daugiakriterinio vertinimo prasmę geriausiai apibūdina žinomiausias ir plačiausiai taikomas SAW (angl. *Simple Additive Weighing*) metodas (Ginevičius *et al.* 2004; 2005; Ginevičius, Podvezko 2004, 2006, 2007, 2008a). Tai vienas iš paprastesnių daugiakriterinio vertinimo metodų (Dėjus 2011). Metodo kriterijus S_j tiksliai išreiškia kiekybinių daugiakriterinių metodų idėją – rodiklių reikšmių ir jų reikšmingumų jungimą į vieną dydį. Skaičiuojama visų rodiklių pasvertų normalizuotų reikšmių suma S_j kiekvienam j -ajam objektui. Ji nustatoma pagal formulę (Hwang, Yoon 1981):

$$S_j = \sum_{i=1}^m \omega_i \tilde{r}_{ij}, \quad (2.7)$$

čia ω_i – i -ojo rodiklio svoris; $\tilde{r}_{ij}$ – i -ojo rodiklio normalizuota reikšmė j -ajai alternatyvai.

Metodo kriterijus S_j sieja tik maksimizuojamųjų rodiklių reikšmes, todėl minimizuojamuosius rodiklius reikia pertvarkyti (normalizuoti) į maksimizuojamuosius. Tai atliekama pagal formulę (Hwang, Yoon 1981):

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{\min r_{ij}}{r_{ij}}, \quad (2.8)$$

čia r_{ij} – j -osios alternatyvos i -ojo rodiklio reikšmė; $\min r_{ij}$ – mažiausia j -osios alternatyvos i -ojo rodiklio reikšmė.

Metodas taip pat numato ir maksimizuojamųjų rodiklių normalizavimą:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\max_j r_{ij}}, \quad (2.9)$$

čia $\max r_{ij}$ – didžiausia j -osios alternatyvos i -ojo rodiklio reikšmė.

SAW metodo taikymo praktika parodė, kad rodiklius normalizuoti galima ir pagal klasikinę formulę (Ginevičius, Podvezko 2008b ir kt.):

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}}. \quad (2.10)$$

Šiuo atveju lengviau vertinti alternatyvą, kadangi

$$\sum_{j=1}^n S_j = 1. \quad (2.11)$$

Nustatyta didžiausia S_j reikšmė nurodo geriausią iš nagrinėjamų alternatyvų.

Paprastiausias iš taikomų sprendimų priėmimo metodų yra visų rodiklių vietų suma (VS). Metodo kriterijus V_j kiekvienai j -ajai alternatyvai nustatomas pagal formulę (Ginevičius, Podvezko 2001):

$$V_j = \sum_{i=1}^m m_{ij}, \quad (2.12)$$

čia m_{ij} – i -ojo rodiklio vieta j -ajai alternatyvai ($1 \leq m_{ij} \leq m$).

Kriterijaus V_j reikšmės nepriklauso nei nuo pradinį duomenų normalizavimo būdo, nei nuo jų skalės transformavimo, nei nuo rodiklių reikšmingumo. Bet būtina metodo taikymo sąlyga yra išankstinis rodiklių pobūdžio (maksimizavimo ar minimizavimo) suderinimas. Rodiklių reikšmės galima pertvarkyti pagal formules (2.8) ir (2.9). Šiuo atveju mažiausia kriterijaus V_j reikšmė nurodo geriausią iš nagrinėjamų alternatyvų.

VS metodo skaičiavimo rezultatai rodo, kad šio kriterijaus taikymas tikslin-gas pradiniu vertinimo etapu, nors dažnai VS metodo rezultatai mažai skiriasi nuo sudėtingų matematinių metodų (Ginevičius, Podvezko 2008c).

Prie sudėtingesnių vertinimo metodų galima priskirti tokius kaip TOPSIS, VIKOR, MOORA, COPRAS metodai. Šiuos metodus galima taikyti ir maksimizuojamiems, ir minimizuojamiems rodikliams.

TOPSIS (angl. *Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution*) metodą sukūrė Hwang ir Yoon (1981). Tai variantų prioritetiškumo nustatymo metodas, kai optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendinio ir didžiausią atstumą nuo blogiausio sprendinio (Wang, Elhag 2006; Zavadskas *et al.* 2006). Dėl to šis metodas vadinamas alternatyvų racionalumo nustatymu artumo idealiajam taškui (Chang *et al.* 2005; Zavadskas, Antuchnevičienė 2006, 2007; Zavadskas *et al.* 2005; Jahanshahloo *et al.* 2006, Markovic 2010; Lotfi *et al.* 2011 ir kt.). Metodo sprendimo atveju naudojama vektorinė duomenų normalizacija.

Pirmiausiai sudaroma pradinė sprendimų priėmimo matrica P (Kalibatas 2009):

$$P = [x_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} a_1 & a_2 & \vdots & a_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \end{matrix}; \quad i = 1, m; \quad j = 1, n, \quad (2.13)$$

čia a_m – lyginamos alternatyvos; x_n – vertinami rodikliai; x_{mn} – m -osios alternatyvos n -ojo rodiklio reikšmė.

Matrica normalizuojama pagal formulę:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (2.14)$$

Tokiu būdu gaunama normalizuota matrica $\bar{P}$, kurios visos rodiklių reikšmės yra bedimensiai dydžiai:

$$\bar{P} = [\bar{x}_{ij}] = \begin{bmatrix} a_1 & \bar{x}_{11} & \bar{x}_{21} & \cdots & \bar{x}_{1n} \\ a_2 & \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \cdots & \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_m & \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \cdots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.15)$$

Tuomet sudaroma įvertinta normalizuota matrica $\bar{P}^*$. Atsižvelgiant į rodiklių reikšmingumus matrica sudaroma naudojant formulę:

$$\bar{P}^* = [\bar{P}] \cdot [\bar{q}]. \quad (2.16)$$

Idealiai geriausias variantas nustatomas pagal formulę:

$$a^+ = \{a_1^+, a_2^+, \dots, a_n^+\} = \{[(\max_i \bar{x}_{ij} | j \in J), (\min_i \bar{x}_{ij} | j \in J')]/i = 1, m\}, \quad (2.17)$$

neigiamai idealus variantas nustatomas pagal formulę:

$$a^- = \{a_1^-, a_2^-, \dots, a_n^-\} = \{[(\min_i \bar{x}_{ij} | j \in J), (\max_i \bar{x}_{ij} | j \in J')]/i = 1, m\}. \quad (2.18)$$

čia J – maksimizuojamųjų rodiklių indeksų aibė; J' – minimizuojamųjų rodiklių indeksų aibė.

Atstumas tarp lyginamos i -osios alternatyvos ir idealiai geriausios L_i^+ alternatyvos nustatomas pagal formulę:

$$L_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_{ij} - a_j^+)^2}; \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.19)$$

o tarp i -osios alternatyvos ir neigiamai idealios alternatyvos L_i^- – pagal formulę:

$$L_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\bar{x}_{ij} - a_j^-)^2}; \quad i = \overline{1, m}. \quad (2.20)$$

Kiekvienos i -osios alternatyvos santykinis atstumas iki idealios alternatyvos nustatomas taip:

$$K = \frac{L_i^-}{L_i^+ + L_i^-}; i = \overline{1, m}, K \in [0, 1]. \quad (2.21)$$

Geriausią alternatyvą atitinka didžiausia K kriterijaus reikšmė, o lyginamos alternatyvos ranguojamos mažėjančia tvarka.

Kompromisinio klasifikavimo metodas VIKOR (serb. *Vlase Kriterijumska Optimizacija*), kaip ir TOPSIS metodas, vertina atstumą iki geriausios sprendinio alternatyvos ir siūlo kompromisinius variantus, jei vertinimo kriterijai yra prieštaringi (Ginevičius *et al.* 2008a). VIKOR metodas, pasiūlytas Opricovic ir Tzeng (2002, 2004, 2007), yra paremtas tiesiniu normalizavimu ir atstumų nuo hipotetinės geriausios alternatyvos matavimu (Baležentis, Baležentis 2011).

Metodą sudaro keturi pagrindiniai etapai (Cristobal *et al.* 2009; Chang, Hsu 2009; Chang 2010).

Pirmiausiai nustatomos atskaitos vektoriaus koordinatės:

$$f_j^* = \max_i x_{ij}, \forall j \in B; f_j^* = \min_i x_{ij}, \forall j \in C; \quad (2.22)$$

$$f_j^- = \min_i x_{ij}, \forall j \in B; f_j^- = \max_i x_{ij}, \forall j \in C, \quad (2.23)$$

čia $i = 1, 2, \dots, m$ žymi i -ąją alternatyvą; $j = 1, 2, \dots, n$ žymi j -ąjį rodiklį; B – maksimizuojamųjų rodiklių indeksų aibė, C – minimizuojamųjų rodiklių indeksų aibė.

Metodas naudoja tris alternatyvų vertinimo kriterijus S_i, R_i, Q_i .

Iš pradžių apskaičiuojami kriterijai S_i ir R_i pagal formules:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j (f_j^* - x_{ij}) / (f_j^* - f_j^-), \forall i; \quad (2.24)$$

$$R_i = \max_j [w_j (f_j^* - x_{ij}) / (f_j^* - f_j^-)] \forall i, \quad (2.25)$$

čia w_j – j -ojo rodiklio reikšmingumo koeficientas.

Tuomet apskaičiuojamas pagrindinis apibendrintas kriterijus Q_i :

$$Q_i = v(S_i - S^*) / (S^- - S^*) + (1 - v)(R_i - R^*) / (R^- - R^*), \forall i; \quad (2.26)$$

$$S^* = \min_i S_i; S^- = \max_i S_i; R^* = \min_i R_i; R^- = \max_i R_i, \quad (2.27)$$

čia v – sprendimų priėmimo strategijos pasirinkimo koeficientas (paprastai pasirenkamas $v = 0,5$).

Galiausiai sudaroma alternatyvų sekos eilutė. Geriausias vertinimo alternatyvas atitinka mažiausios S_i, R_i ir Q_i kriterijų reikšmės, lyginamos alternatyvos ranguojamos didėjančia tvarka.

Brauers ir Zavadskas (2006) pasiūlė naują daugiakriterinės optimizacijos santykių analizės pagrindų MOORA (angl. *Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis*) metodą. Šis metodas leidžia išvengti subjektyvumo, nes nereikalauja nustatyti nagrinėjamų rodiklių reikšmingumo koeficientų (Baležentis, Baležentis 2010). MOORA metodą sudaro dvi dalys: santykių sistema ir atskaitos taško teorija (Brauers *et al.* 2008; 2010; Brauers, Zavadskas 2009; Kalibatas 2009). Santykių sistema leidžia normalizuoti duomenis ir suvienodinti skirtingas rodiklių matavimo sistemas, todėl nereikalinga normalizavimo procedūra. Atskaitos taško teorijoje naudojami santykių sistemos metodu apskaičiuoti dydžiai.

Pirmiausiai sudaroma pradinė sprendimų priėmimo matrica X :

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1i} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{j1} & \cdots & x_{ji} & \cdots & x_{jn} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mi} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}. \quad (2.28)$$

Optimalumo kriterijus K_j nustatomas pagal formulę:

$$K_j = \{a_i \mid \max_j \left(\sum_{i=1}^g \bar{x}_{ij} - \sum_{i=g+1}^{i=n} \bar{x}_{ij} \right)\}; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}, \quad (2.29)$$

čia m – alternatyvų skaičius; n – rodiklių skaičius; g – maksimizuojamųjų rodiklių skaičius.

Rodikliai, turintys skirtingas dimensijas, normalizuojami pagal formulę:

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}}; \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}. \quad (2.30)$$

Bedimensių rodiklių reikšmės priklauso intervalui nuo $[0; 1]$, tačiau kartais intervalas gali būti $[-1; 1]$ (Brauers *et al.* 2010).

Sprendimų matricoje pirmiausiai išdėstomi rodikliai, kurių reikšmės yra maksimizuojamos, o po to – minimizuojamos. Geriausias vertinimo alternatyvas atitinka didžiausios K_j reikšmės.

Atskaitos taško teorija remiasi santykių sistema. Iš maksimalias reikšmes turinčių rodiklių (r_i) sudaroma geriausia alternatyva (maksimalus tikslinis atskaitos taškas), kuri lyginama su kiekviena esama alternatyva:

$$(r_i - x_{ij}^*), \quad (2.31)$$

čia x_{ij}^* reikšmės apskaičiuojamos pagal formulę (2.30).

Remiantis formule (2.31) sudaroma alternatyvų palyginimo su geriausia alternatyva matrica. Galutinis rangas alternatyvoms suteikiamas remiantis min-max metodu:

$$\min_{(j)} \left\{ \max_{(i)} (r_i - x_{ij}^*) \right\}. \quad (2.32)$$

MOORA metodas buvo papildytas pilnąja sandaugos forma ir pavadintas MULTIMOORA (angl. *MOORA plus Full Multiplicative Form*) metodu (Brauers, Zavadskas 2010, 2011; Kracka *et al.* 2010).

Vienas iš plačiausiai taikomų metodų įvairiose srityse – COPRAS (angl. *CComplex PROportional ASsessment*) metodas. Daugiakriterinį kompleksinio proporcingo įvertinimo metodą 1994 m. sukūrė Zavadskas ir Kaklauskas. Šis metodas leidžia sudaryti nagrinėjamų projektų prioritetų eilutę ir nustatyti procentinę išraišką, rodančią kiek viena alternatyva yra geresnė už kitas. Metodas sėkmingai pritaikytas spręsti įvairias problemas statybos, vadybos, ekonomikos, ekologijos ir kitose srityse (Tupėnaitė *et al.* 2010; Zavadskas *et al.* 2007a; Kaklauskas *et al.* 2007; Kalibatas *et al.* 2007; Viteikienė 2006, 2008; Andruškevičius 2005; Malinauskas, Kalibatas 2005 ir kt.).

Metodas susideda iš šių etapų:

1 etapas. Sprendimų priėmimo matricos X sudarymas:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix}; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.33)$$

čia n – rodiklių skaičius; m – lyginamų alternatyvų skaičius.

2 etapas. Sprendimų priėmimo matricos X normalizavimas. Matricos reikšmės normalizuojamos pagal formulę:

$$\bar{x}_{ji} = \frac{x_{ji}}{\sum_{j=1}^n x_{ji}}; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (2.34)$$

čia x_{ji} – i -osios alternatyvos j -ojo rodiklio reikšmė; n – rodiklių skaičius; m – lyginamų alternatyvų skaičius.

Tuomet normalizuota sprendimų priėmimo matrica $\bar{X}$ yra:

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \cdots & \bar{x}_{1m} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \cdots & \bar{x}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{n1} & \bar{x}_{n2} & \cdots & \bar{x}_{nm} \end{bmatrix}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (2.35)$$

3 etapas. Normalizuotos įvertintos sprendimų priėmimo matricos $\hat{X}$ sudarymas. Įvertintos normalizuotos reikšmės $\hat{x}_{ji}$ yra apskaičiuojamos pagal formulę:

$$\hat{x}_{ji} = \bar{x}_{ji} \cdot q_j; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}, \quad (2.36)$$

čia q_j yra rodiklio j reikšmingumo koeficientas.

4 etapas. Rodiklių reikšmių, kurių didesnė reikšmė alternatyvai priimtinesnė (optimizavimo kryptis yra rodiklio maskimizavimas), sumų P_i apskaičiavimas:

$$P_i = \sum_{j=1}^k \hat{x}_{ji}. \quad (2.37)$$

Formulėje (2.37) k yra rodiklių, kurių reikšmės turi būti maksimizuotos, skaičius.

5 etapas. Rodiklių reikšmių, kurių mažesnė reikšmė alternatyvai priimtinesnė (optimizavimo kryptis yra rodiklio minimizavimas), sumų R_i apskaičiavimas:

$$R_i = \sum_{i=k+1}^n \hat{x}_{ji}. \quad (2.38)$$

Formulėje (2.38) $(n - k)$ yra rodiklių, kurių reikšmės turi būti minimizuotos, skaičius.

6 etapas. Minimalios reikšmės $R_{\min}$ nustatymas:

$$R_{\min} = \min_i R_i; i = \overline{1, m}. \quad (2.39)$$

7 etapas. Kiekvienos alternatyvos santykinio reikšmingumo Q_i nustatymas. Santykinis reikšmingumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$Q_i = P_i + \frac{R_{\min} \sum_{i=1}^m R_i}{R_i \sum_{i=1}^m \frac{R_{\min}}{R_i}}; i = \overline{1, m}. \quad (2.40)$$

8 etapas. Optimalumo kriterijaus nustatymas:

$$K = \max_i Q_i; i = \overline{1, m}. \quad (2.41)$$

9 etapas. Alternatyvų prioritetiškumo nustatymas. Geriausią alternatyvą atitinka didžiausia alternatyvos santykinio reikšmingumo Q_i reikšmė.

10 etapas. Alternatyvų naudingumo laipsnio apskaičiavimas, lyginant atskiras alternatyvas su didžiausią santykinį reikšmingumą turinčia alternatyva:

$$N_i = \frac{Q_i}{Q_{\max}} \cdot 100 \%. \quad (2.42)$$

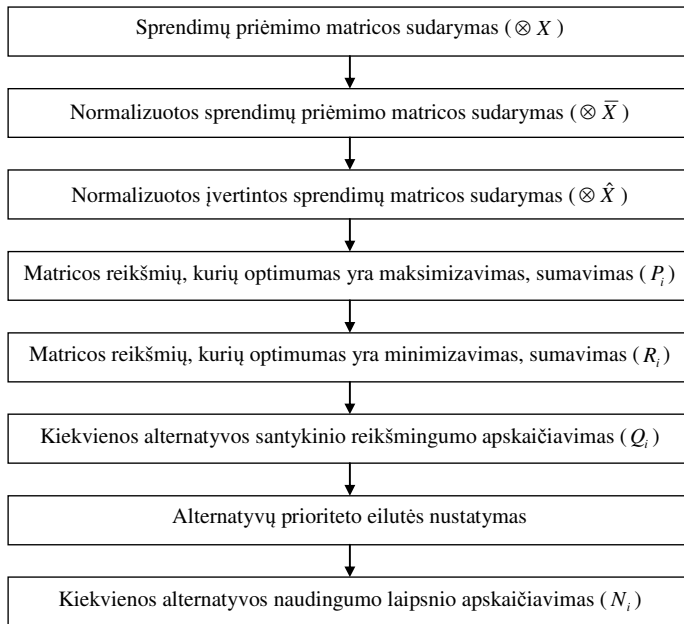
Alternatyvos naudingumo laipsnis matuojamas 100 procentų ribose ir parodo, koku lygiu yra patenkinami poreikiai.

Kiekvienas daugiakriterinio vertinimo metodas turi savo vidinę logiką, ypatumus, privalumus, vertinimo kriterijus ir išreiškia nagrinėjamo objekto specifiką. Todėl nagrinėjamų alternatyvų rangavimo rezultatai pagal įvairius vertinimo metodus tarpusavyje skiriasi (Ginevičius, Podvezko 2008b,c,d; Ginevičius *et al.* 2008b; Ustinovičius *et al.* 2007). Tačiau nėra apibrėžta, kuris metodas koku atveju yra tinkamiausias taikyti (Kalibatas 2009).

Taikant išanalizuotus metodus lyginamos alternatyvos yra aprašomos diskrečiomis rodiklių reikšmėmis. Tačiau praktikoje visuomet egzistuoja tam tikras neapibrėžtumas ir aprašant alternatyvas pradinės rodiklių reikšmės negali būti tiksliai nustatytos ar apskaičiuotos. Atsižvelgiant į tai, COPRAS metodo pagrindu buvo sukurtas naujas daugiakriterinis kompleksinio proporcingo įvertinimo metodas, kai rodikliai yra išreikšti intervalais (COPRAS-G) (angl. *Complex Proportional Assessment of alternatives with Grey relations*) (Tamošaitienė 2009). Pagrindinė COPRAS-G metodo idėja paskelbta 2008 metais (Zavadskas *et al.* 2008c), kuri paremta Grey sistemos teorijos pritaikymu (Zavadskas *et al.* 2009). Grey sistemos teorija suformuota ir pristatyta dar 9-ajame dešimtmetyje (Deng 1989), tačiau ir dabar daug mokslininkų naudoja šią teoriją sprendimų priėmimui įvairiose mokslo srityse (Zavadskas *et al.* 2009). Grey sistema taikoma tais atvejais, kai rodiklių reikšmės negali būti išreikštos tiksliai verte, o varijuoja tam tikruose intervaluose ar neapibrėžtoje aibėje (Zavadskas *et al.* 2010). Tai labiau atitinka realias sprendimų priėmimo sąlygas ir galimas reikšmes.

COPRAS-G metodas buvo pritaikytas atrenkant statybos projektų valdytojus, statybos rangovus, vertinant statybos projektų riziką ir daugiabučių namų išorinių sienų efektyvumą, nustatant aplinką patalpose bei atrenkant geriausią kambarį iš galimų alternatyvų (Zavadskas *et al.* 2008a,b,c,d; 2009; 2010; Turskis *et al.* 2009), taip pat buvo naudotas sprendžiant informacinių technologijų uždavinius, parenkant geriausią internetinės svetainės variantą (Madhuri *et al.* 2010).

Iš esmės COPRAS-G metodo atlikimo principas yra toks pats, kaip ir pradinio COPRAS metodo (2.1 pav.).



2.1 pav. COPRAS-G metodo sprendimo algoritmas

Fig. 2.1. The algorithm of COPRAS-G method

Pastarasis sprendimų priėmimo metodas atliekamas šiais etapais:

1 etapas. Sprendimų priėmimo matricos $\otimes X$ sudarymas:

$$\otimes X = \begin{bmatrix} [\otimes x_{11}] & [\otimes x_{12}] & \dots & [\otimes x_{1m}] \\ [\otimes x_{21}] & [\otimes x_{22}] & \dots & [\otimes x_{2m}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [\otimes x_{n1}] & [\otimes x_{n2}] & \dots & [\otimes x_{nm}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [w_{11}; b_{11}] & [w_{12}; b_{12}] & \dots & [w_{1m}; b_{1m}] \\ [w_{21}; b_{21}] & [w_{22}; b_{22}] & \dots & [w_{2m}; b_{2m}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [w_{n1}; b_{n1}] & [w_{n2}; b_{n2}] & \dots & [w_{nm}; b_{nm}] \end{bmatrix}$$

$$j = \overline{1, n}; i = \overline{1, m}, \quad (2.43)$$

čia n – rodiklių skaičius; m – lyginamų alternatyvų skaičius. $\otimes x_{ji}$ yra apibrėžtas mažiausia reikšme w_{ji} (apatinė riba) ir didžiausia reikšme b_{ji} (viršutinė riba).

2 etapas. Sprendimų priėmimo matricos $\otimes X$ normalizavimas:

$$\bar{w}_{ji} = \frac{w_{ji}}{\frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^m w_{ji} + \sum_{i=1}^m b_{ji} \right)} = \frac{2w_{ji}}{\sum_{i=1}^m w_{ji} + \sum_{i=1}^m b_{ji}}; \quad j = \overline{1, n}; \quad i = \overline{1, m}; \quad (2.44)$$

$$\bar{b}_{ji} = \frac{b_{ji}}{\frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^m w_{ji} + \sum_{i=1}^m b_{ji} \right)} = \frac{2b_{ji}}{\sum_{i=1}^m (w_{ji} + b_{ji})}; \quad j = \overline{1, n}; \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.45)$$

čia w_{ji} – žemiausia rodiklio j reikšmė alternatyvoje i ; b_{ji} – didžiausia rodiklio j reikšmė alternatyvoje i .

Tuomet normalizuota sprendimų priėmimo matrica $\otimes \bar{X}$ yra:

$$\otimes \bar{X} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \otimes \bar{x}_{11} \\ \otimes \bar{x}_{21} \\ \vdots \\ \otimes \bar{x}_{n1} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \otimes \bar{x}_{12} \\ \otimes \bar{x}_{22} \\ \vdots \\ \otimes \bar{x}_{n2} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} \otimes \bar{x}_{1m} \\ \otimes \bar{x}_{2m} \\ \vdots \\ \otimes \bar{x}_{nm} \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{w}_{11}; \bar{b}_{11} \\ \bar{w}_{21}; \bar{b}_{21} \\ \vdots \\ \bar{w}_{n1}; \bar{b}_{n1} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \bar{w}_{12}; \bar{b}_{12} \\ \bar{w}_{22}; \bar{b}_{22} \\ \vdots \\ \bar{w}_{n2}; \bar{b}_{n2} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} \bar{w}_{1m}; \bar{b}_{1m} \\ \bar{w}_{2m}; \bar{b}_{2m} \\ \vdots \\ \bar{w}_{nm}; \bar{b}_{nm} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ j = \overline{1, n}; \quad i = \overline{1, m}. \quad (2.46)$$

3 etapas. Normalizuotos įvertintos sprendimų priėmimo matricos $\otimes \hat{X}$ sudarymas. Įvertintos normalizuotos reikšmės $\otimes \hat{x}_{ji}$ yra apskaičiuojamos pagal formulę:

$$\otimes \hat{x}_{ji} = \otimes \bar{x}_{ji} \cdot q_j; \quad (2.47)$$

$$\hat{w}_{ji} = \bar{w}_{ji} \cdot q_j; \quad (2.48)$$

$$\hat{b}_{ji} = \bar{b}_{ji} \cdot q_j. \quad (2.49)$$

Formulėse (2.47)–(2.49) q_j yra rodiklio j reikšmingumo koeficientas.

Normalizuota įvertinta sprendimų priėmimo matrica $\otimes \hat{X}$:

$$\otimes \hat{X} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \otimes \hat{x}_{11} \\ \otimes \hat{x}_{21} \\ \vdots \\ \otimes \hat{x}_{n1} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \otimes \hat{x}_{12} \\ \otimes \hat{x}_{22} \\ \vdots \\ \otimes \hat{x}_{n2} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} \otimes \hat{x}_{1m} \\ \otimes \hat{x}_{2m} \\ \vdots \\ \otimes \hat{x}_{nm} \end{bmatrix} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{w}_{11}; \hat{b}_{11} \\ \hat{w}_{21}; \hat{b}_{21} \\ \vdots \\ \hat{w}_{n1}; \hat{b}_{n1} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \hat{w}_{12}; \hat{b}_{12} \\ \hat{w}_{22}; \hat{b}_{22} \\ \vdots \\ \hat{w}_{n2}; \hat{b}_{n2} \end{bmatrix} & \dots & \begin{bmatrix} \hat{w}_{1m}; \hat{b}_{1m} \\ \hat{w}_{2m}; \hat{b}_{2m} \\ \vdots \\ \hat{w}_{nm}; \hat{b}_{nm} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ j = \overline{1, n}; \quad i = \overline{1, m}. \quad (2.50)$$

4 etapas. Rodiklių reikšmių, kurių didesnė reikšmė alternatyvai priimtinesnė (optimizavimo kryptis yra rodiklio maksimizavimas), sumų P_i apskaičiavimas:

$$P_i = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k (\hat{w}_{ji} + \hat{b}_{ji}), \quad (2.51)$$

čia k – rodiklių, kurių reikšmės turi būti maksimizuotos, skaičius.

5 etapas. Rodiklių reikšmių, kurių mažesnė reikšmė alternatyvai priimtinesnė (optimizavimo kryptis yra rodiklio minimizavimas), sumų R_i apskaičiavimas:

$$R_i = \frac{1}{2} \sum_{j=k+1}^n (\hat{w}_{ji} + \hat{b}_{ji}), \quad (2.52)$$

čia $(n - k)$ yra rodiklių, kurių reikšmės turi būti minimizuotos, skaičius.

Suma visų R_i ir P_i turi būti lygi 1.

$$\sum_{i=1}^m P_i + \sum_{i=1}^m R_i = 1. \quad (2.53)$$

6 etapas. Minimalios reikšmės $R_{\min}$ nustatymas:

$$R_{\min} = \min_i R_i; \quad i = \overline{1, m}. \quad (2.54)$$

7 etapas. Kiekvienos alternatyvos santykinio reikšmingumo Q_i apskaičiavimas:

$$Q_i = P_i + \frac{R_{\min} \sum_{i=1}^m R_i}{R_i \sum_{i=1}^m \frac{R_{\min}}{R_i}}. \quad (2.55)$$

8 etapas. Optimalumo kriterijaus L nustatymas:

$$L = \max_i Q_i; \quad i = \overline{1, m}. \quad (2.56)$$

9 etapas. Alternatyvos prioritetiškumo nustatymas.

10 etapas. Alternatyvos naudingumo laipsnio N_i nustatymas. Kiekvienos alternatyvos i naudingumo laipsnis N_i apskaičiuojamas pagal formulę (Zavadskas et al. 2009; Zavadskas et al. 2010):

$$N_i = \frac{Q_i}{L} \cdot 100\%. \quad (2.57)$$

Naudingumo koeficientas parodo kiek viena alternatyva yra geresnė ar blogesnė už kitas alternatyvas.

Šiame darbe COPRAS-G metodas pritaikytas transporto inžinerijos mokslo problemai spręsti, kurio tikslas – įvertinti terminale naudojamų kontenerių aptarnavimo sistemų techninius parametrus ir nustatyti efektyviausią nagrinėjamų technologijų alternatyvų. COPRAS-G metodas pasirinktas todėl, kad nagrinėjamų alternatyvų prioritetiškumas tiesiogiai ir proporcingai priklauso nuo jas adekvačiai apibūdinančių rodiklių sistemos ir rodiklių reikšmingumų. Metodas sėkmingai gali būti pritaikytas, kai alternatyvas aprašančių rodiklių yra daug. Be to, metodo pasirinkimą lėmė tai, kad jis paremtas Grey sistemos teorijos pritaikymu, kadangi tai labiau atitinka realias sprendimų priėmimo sąlygas, nes nagrinėjamu atveju technologijas apibūdinančių rodiklių reikšmės varijuoja tam tikrose intervaluose.

2.4. Antrojo skyriaus išvados

1. Daugiakriterinių vertinimo metodų analizė parodė, kad kiekvienas metodas turi savitą sprendimo metodiką ir skiriasi savo sudėtingumu, tačiau iš esmės visi metodai yra universalūs ir gali būti pritaikyti bet kuriai problemai spręsti. Nėra nustatyta ar apibrėžta, kuris metodas esant konkrečioms sąlygoms yra tinkamiausias taikyti.

2. Nagrinėjamai transporto inžinerijos mokslo problemai spręsti pasirinktas COPRAS-G metodas, kuris leidžia sudaryti nagrinėjamų projektų prioritetinę eilutę ir nustatyti procentinę išraišką, parodančią kiek viena alternatyva efektyvesnė už kitas.

3. Pasirinkto metodo taikymo atveju turi būti sudaryta rodiklių, apibūdinančių nagrinėjamas alternatyvas, sistema ir įvertintas kiekvieno rodiklio santykinis reikšmingumas.

Konteinerio aptarnavimo ciklo matematinis modeliavimas ir jį įtakančių veiksnių nustatymas

Skyriuje pateiktas autoriaus sudarytas konteinerio ciklo terminale matematinis modelis vandens – kelių transporto sąveikos atveju ir nustatyta tiesiogiai ciklą įtakančių veiksnių sistema. Konteinerio aptarnavimo ciklu terminale yra laikoma konteinerio judėjimo terminale trukmė, pradedant nuo jo paėmimo krantinės kranu iš laivo iki išvežimo kliento transporto priemone pro išvykimo vartus.

3.1. Krovos proceso matematinis aprašymas

Bendrą krovos proceso laiką t sudaro pagalbinių operacijų ir krovos priemonės darbo ciklo trukmės, atsižvelgiant į galimą operacijų persidengimą, suminis laikas (Ширяев et al. 2007):

$$t = t_p + \varphi \sum_{n=1}^m t_n, \quad (3.1)$$

čia t_p – pagalbinių operacijų trukmė, s; t_n – krovos priemonės darbo trukmė, s; φ – koeficientas, nusakantis operacijų persidengimą (operacijų persidengimas aiškinamas tuo, kad kai kurios ciklo operacijos gali vykti tuo pačiu metu).

Pagalbinėmis operacijomis yra laikomos operacijos, atliekamos rankomis (krovinio užkabinimas, atkabinimas, krovinio nukreipimas į jo vietą ir pan.). Kadangi konteinerių krova atliekama automatinio būdu, t. y. konteineriai užkabiniami automatinio griebtuvu, konteinerio krovos atveju pagalbinės operacijos nevertinamos.

Krovos priemonės darbo ciklu yra laikomas laikas, skirtas vieno krovinio paėmimui ir perkėlimui į kitą vietą, bei krovos priemonės grįžimui į pradinę padėtį kito krovinio paėmimui. Kitaip tariant, tai yra suminis laikas, skirtas n operacijoms atlikti:

$$T_c = \varphi(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n), \quad (3.2)$$

čia $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ – skirtingų operacijų trukmė, s; φ – koeficientas, nusakantis atskirų darbo ciklo operacijų persidengimą.

Formulė (3.2) yra bendra krovos priemonių darbo ciklo trukmę apibrėžianti formulė. Tačiau darbo ciklo operacijų sudėtis ir jų skaičius skiriasi priklausomai nuo priemonių tipo.

I. Ožinių kranų darbinis ciklas apibrėžiamas formule (Бойко, Чередниченко 2007):

$$T_c = t_{už} + t_{at} + t_n + t'_n + t_{vald} + \varphi(4t_{krov} + 2t_v + t_{kr}), \quad (3.3)$$

čia $t_{už}$ – krovinio užkabinimo trukmė, s; t_{at} – krovinio atkabinimo trukmė, s; t_n, t'_n – trukmė, kuomet griebiamasis įrenginys yra nustatomas virš krovinio jam užkabinti ar atkabinti, s; t_{vald} – suminis laikas, sugaištamasis visų kranų mechanizmų įjungimui ir išjungimui, s; φ – koeficientas, nusakantis atskirų darbo ciklo operacijų persidengimą; t_{krov} – krovinio pakėlimo arba nuleidimo trukmė, s; t_v – vežimėlio judėjimo trukmė, s; t_{kr} – kranų judėjimo trukmė, s.

Krovinio pakėlimo ar nuleidimo trukmė yra lygi:

$$t_{krov} = \frac{H_{krov}}{V_{krov}}, \quad (3.4)$$

čia H_{krov} – krovinio pakėlimo (nuleidimo) aukštis, m; V_{krov} – krovinio pakėlimo (nuleidimo) greitis, m/s.

Vežimėlio judėjimo trukmė yra apibrėžiama pagal formulę:

$$t_v = \frac{L_v}{V_v}, \quad (3.5)$$

čia L_v – vežimėlio judėjimo atstumas, m; V_v – vežimėlio judėjimo greitis, m/s.

Krano judėjimo trukmė apibrėžiama pagal formulę:

$$t_{kr} = \frac{L_{kr}}{V_{kr}}, \quad (3.6)$$

čia L_{kr} – krano judėjimo atstumas, m; V_{kr} – krano judėjimo greitis, m/s.

Ištačius šias lygybes į formulę (3.3), ožinių kranų darbo ciklo trukmę nustatanti formulė yra:

$$T_c = t_{už} + t_{at} + t_n + t'_n + t_{vald} + \varphi \left(\frac{4H_{krov}}{V_{krov}} + \frac{2L_v}{V_v} + \frac{2L_{kr}}{V_{kr}} \right). \quad (3.7)$$

II. Šakinių krautuvų darbinis ciklas apibrėžiamas formule (Бойко, Чередниченко 2007):

$$T_c = \varphi(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9 + t_{10} + t_{11}), \quad (3.8)$$

čia φ – koeficientas, nusakantis atskirų darbo ciklo operacijų persidengimą; t_1 – krautuvo rėmo pasvirimo pirmyn, šakių įstūmimo po kroviniu, krovinio pakėlimo ant šakių ir krautuvo rėmo pasvirimo atgal trukmė, s; t_2 – krautuvo apsisukimo trukmė, s; t_3 – krautuvo judėjimo su kroviniu trukmė, s; t_4 – krautuvo rėmo pastatymo į vertikalią padėtį trukmė, s; t_5 – krovinio pakėlimo į reikiamą aukštį trukmė, s; t_6 – krovinio pastatymo į vietą trukmė, s; t_7 – krautuvo rėmo pasvirimo atgal trukmė, s; t_8 – tuščio rėmo nuleidimo trukmė, s; t_9 – krautuvo be krovinio apsisukimo trukmė, s; t_{10} – krautuvo grįžimo prie kito krovinio trukmė, s; t_{11} – suminis laikas, sugaišamas krautuvo mechanizmų įjungimui ir išjungimui, s.

Krautuvo judėjimo su kroviniu ar be jo trukmė lygi:

$$t_{3,10} = \frac{L_{kraut}}{V_{kraut}} + t_{gr.st.}, \quad (3.9)$$

čia L_{kraut} – krautuvo judėjimo atstumas, m; V_{kraut} – krautuvo judėjimo greitis, m/s; $t_{gr.st.}$ – krautuvo greitėjimo ir stabdymo trukmė, s.

Krovinio pakėlimo arba nuleidimo trukmė apibrėžiama pagal formulę:

$$t_{5,8} = \frac{H_{krov}}{V_{krov}}, \quad (3.10)$$

čia H_{krov} – krovinio pakėlimo (nuleidimo) aukštis, m; V_{krov} – krovinio pakėlimo (nuleidimo) greitis, m/s.

Tuomet šakinių krautuvų darbo ciklo trukmę nustatanti formulė yra:

$$T_c = \varphi \left[\begin{aligned} & t_1 + t_2 + \left(\frac{L_{kraut}}{V_{kraut}} + t_{gr.st.} \right) + t_4 + \left(\frac{H_{krov}}{V_{krov}} \right) + t_6 + t_7 + \\ & + \left(\frac{H_{krov}}{V_{krov}} \right) + t_9 + \left(\frac{L_{kraut}}{V_{kraut}} + t_{gr.st.} \right) + t_{11} \end{aligned} \right]. \quad (3.11)$$

Nepriklausomai nuo to, ar krautuvą yra aprūpintas šakėmis ar griebtuvu, jo veikimo principas yra panašus. Tuomet remiantis šakinių krautuvų darbo ciklo trukmės formule galima apibrėžti ir **konteinerinio krautuvo darbo ciklą**:

$$T_c = \varphi(t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9), \quad (3.12)$$

čia φ – koeficientas, nusakantis atskirų darbo ciklo operacijų persidengimą; t_1 – trukmė, kuomet krautuvo griebtuvas yra nustatomas virš krovinio jam užkabinti, s; t_2 – krovinio pakėlimo trukmė, s; t_3 – krautuvo apsisukimo trukmė, s; t_4 – krautuvo judėjimo su kroviniu trukmė, s; t_5 – krovinio nuleidimo trukmė, s; t_6 – krovinio pastatymo į vietą ir jo atkabinimo trukmė, s; t_7 – krautuvo be krovinio apsisukimo trukmė, s; t_8 – krautuvo grįžimo prie kito krovinio trukmė, s; t_9 – suminis laikas, sugaišamas krautuvo mechanizmų įjungimui ir išjungimui, s.

Krautuvo judėjimo su kroviniu ar be jo trukmė lygi:

$$t_{4,8} = \frac{L_{kraut}}{V_{kraut}} + t_{gr.st.}, \quad (3.13)$$

čia L_{kraut} – krautuvo judėjimo atstumas, m; V_{kraut} – krautuvo judėjimo greitis, m/s; $t_{gr.st.}$ – krautuvo greitėjimo ir stabdymo trukmės, s.

Krovinio pakėlimo arba nuleidimo trukmė apibrėžiama pagal formulę:

$$t_{2,5} = \frac{H_{krov}}{V_{krov}}, \quad (3.14)$$

čia H_{krov} – pakėlimo (nuleidimo) aukštis, m; V_{krov} – pakėlimo (nuleidimo) greitis, m/s.

Tuomet konteinerinio krautuvo darbo ciklo trukmę nustatanti formulė yra:

$$T_c = \varphi \left[\begin{aligned} & t_1 + \left(\frac{H_{krov}}{V_{krov}} \right) + t_3 + \left(\frac{L_{kraut}}{V_{kraut}} + t_{gr.st.} \right) + \left(\frac{H_{krov}}{V_{krov}} \right) + \\ & + t_6 + t_7 + \left(\frac{L_{kraut}}{V_{kraut}} + t_{gr.st.} \right) + t_9 \end{aligned} \right]. \quad (3.15)$$

Taip matematiškai aprašomas techninės įrangos, dirbančios terminale, krovos darbo ciklas. Remiantis pateiktomis formulėmis sekančiame skyriuje sudarytas konteinerių aptarnavimo ciklą terminale aprašantis matematinis modelis.

3.2. Konteinerio aptarnavimo ciklo modeliavimas

Konteinerio aptarnavimo ciklu terminale yra laikomas bendras konteinerio buvimo terminale laikas ir apibrėžiamas kaip konteinerio judėjimo terminale trukmė, pradedant nuo jo paėmimo krantinės kranu iš laivo iki išvežimo kliento transporto priemone pro išvykimo vartus. Siekiant aprašyti konteinerio aptarnavimo ciklą, tikslinga išanalizuoti kaip konteineris juda terminale ir kokios aptarnavimo operacijos su juo yra atliekamos.

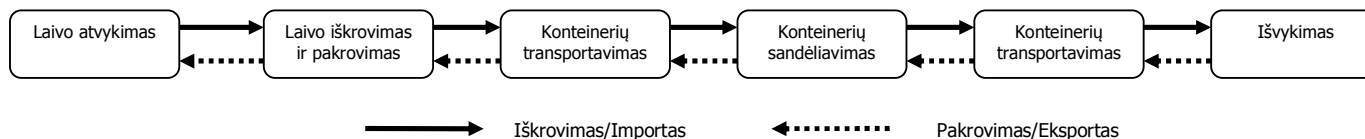
Į terminalą atgabenti konteineriai yra skirstomi į tris tipus: importuojamus, eksportuojamus ir perkraunamus tarp atskirų laivų.

Importuojami konteineriai atplukdomi laivu, iš kurio yra iškraunami krantinės kranu. Paimtas iš laivo konteineris yra pastatomas ant žemės arba terminalo vilkiko platformos, priklausomai nuo to, kokia techninė įranga naudojama konteinerių transportavimui nuo krantinės iki sandėliavimo aikštelės. Sandėliavimo aikštelėje konteineriai paprastai aptarnaujami ožiniais kranais arba krautuvais. Šiomis priemonėmis iš terminalo vilkiko jie perkraunami į paskirtą vietą, kur tam tikrą laiką yra sandėliuojami. Kai į terminalą atvyksta klientų transportas, konteineriai ta pačia krovos įranga yra perkeliama tiesiai į klientų transporto priemones, kuriomis išvyksta iš terminalo, arba terminalo vilkikus, kuriais nugabenami iki kitos transporto rūšies priemonės (vandens-geležinkelių transporto sąveikos atveju) (3.1 pav.). Eksportuojamų konteinerių aptarnavimo procesas vykdomas priešinga tvarka (3.1 pav.).

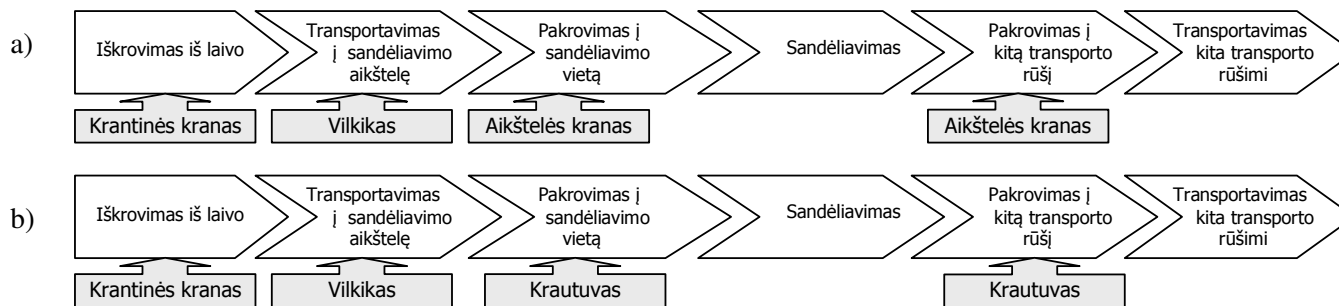
Perkraunamų konteinerių aptarnavimo procesas terminale skiriasi. Konteineriai saugojimo aikštelėje yra saugomi po to, kai iškraunami iš vieno laivo, iki tol, kol bus pakrauti į kitą laivą.

Aptarnavimo operacijos terminale, atliekamos su importuojamu konteineriu, pagal eilės seką yra pasiskirstę taip (3.2 pav.):

1. krova tarp laivo ir krantinės;
2. transportavimas tarp krantinės ir sandėliavimo aikštelės;
3. krova tarp terminalo transporto priemonės ir sandėliavimo vietos;
4. sandėliavimas;
5. krova tarp sandėliavimo vietos ir transporto priemonės;
6. transportavimas iš terminalo;
7. dokumentų pildymas ir konteinerio būklės patikra, kitos muitinės procedūros.



3.1 pav. Konteinerių srautai terminale
Fig. 3.1. Containers' flows in the terminal



3.2 pav. Konteinerių aptarnavimas skirtinga krovos įranga:
 a) kai aikštelėje aptarnaujamas kranu; b) kai aikštelėje aptarnaujamas krautuvu
Fig. 3.2. Containers' handling by different equipment: a) in the yard by the crane; b) in the yard by the stacker

Kaip jau minėta, konteinerius sandėliavimo aikštelėje gali aptarnauti dviejų tipų krovos įranga – ožinis kranas arba krautuvas. Tačiau nepriklausomai nuo to, konteinerių aptarnavimo technologinė seka nesiskiria (3.2 pav.).

Visos išvardintos konteinerio aptarnavimo operacijos gali būti aprašytos matematiškai.

1. Konteinerio krova tarp laivo ir krantinės

Krova krantinės zonoje yra atliekama krantinės kranu. Paprastai tai yra ožinis kranas ant geležinkelio bėgių (RMG). Tokiu atveju krova tarp laivo ir krantinės gali būti išreikšta ožinio kranu krovos darbo ciklo formulėmis (3.3), (3.7).

Kadangi ožinio kranu krovos darbo ciklo formulė apibrėžia pilną priemonės darbo ciklą (įskaitant ir krovos priemonės judėjimą be krovinio), tikslinga atskirti veiksmus, kurie nėra tiesiogiai susiję su konteinerio aptarnavimu. Tuomet formulė, apibrėžianti konteinerio krovos procesą yra:

$$T_1 = t_{už} + t_{at} + t_n + t'_n + t_{vald} + \varphi(2t_{kont} + t_v + t_{kr}), \quad (3.16)$$

čia $t_{už}$ – konteinerio užkabinimo trukmė, s; t_{at} – konteinerio atkabinimo trukmė, s; t_n, t'_n – trukmė, kuomet griebtuvas yra nustatomas virš konteinerio jam užkabinti ar atkabinti, s; t_{vald} – suminis laikas, sugaištamasis visų kranu mechanizmų įjungimui ir išjungimui, s; φ – koeficientas, nusakantis atskirų darbo ciklo operacijų persidengimą; t_{kont} – konteinerio pakėlimo arba nuleidimo trukmė, s; t_v – vežimėlio judėjimo trukmė, s; t_{kr} – kranu judėjimo trukmė, s.

Taip pat konteinerio aptarnavimo procesas krantinėje gali būti apibrėžtas formule:

$$T_1 = t_{už} + t_{at} + t_n + t'_n + t_{vald} + \varphi \left(\frac{2H_{kont}}{V_{kont}} + \frac{L_{kr}}{V_{kr}} + \frac{L_v}{V_v} \right), \quad (3.17)$$

čia H_{kont} – konteinerio pakėlimo ir nuleidimo aukštis, m; V_{kont} – konteinerio pakėlimo ir nuleidimo greitis, m/s; L_{kr} – kranu judėjimo atstumas, m; V_{kr} – kranu judėjimo greitis, m/s; L_v – kranu vežimėlio judėjimo atstumas, m; V_v – kranu vežimėlio judėjimo greitis, m/s.

Pastebėtina, kad konteinerio kėlimo aukštis ne visada sutampa su jo nuleidimo aukščiu, todėl tikslinga juos atskirti:

$$\frac{2H_{kont}}{V_{kont}} = \frac{H_{kont.pak}}{V_{kont.pak}} + \frac{H_{kont.nul}}{V_{kont.nul}}. \quad (3.18)$$

čia $H_{kont.pak}$ – konteinerio pakėlimo aukštis, m; $V_{kont.pak}$ – konteinerio pakėlimo greitis, m/s; $H_{kont.nul}$ – konteinerio nuleidimo aukštis, m; $V_{kont.nul}$ – konteinerio nuleidimo greitis, m/s.

Tuomet konteinerio aptarnavimo krantinėje trukmė gali būti apibrėžta:

$$T_1 = t_{už} + t_{at} + t_n + t'_n + t_{vald} + \varphi \left(\frac{H_{kont.pak}}{V_{kont.pak}} + \frac{H_{kont.nul}}{V_{kont.nul}} + \frac{L_{kr}}{V_{kr}} + \frac{L_v}{V_v} \right). \quad (3.19)$$

2. Konteinerio transportavimas tarp krantinės ir sandėliavimo aikštelės

Konteinerio transportavimas tarp krantinės ir sandėliavimo aikštelės yra atliekamas terminalo transporto priemone, todėl jis gali būti išreikštas laiku, per kurį transporto priemonė nuvažiuoja atstumą nuo prieplaukos iki sandėliavimo aikštelės sektoriaus:

$$T_2 = \frac{L_t}{V_t}, \quad (3.20)$$

čia L_t – terminalo transporto priemonės važiavimo atstumas, m; V_t – terminalo transporto priemonės važiavimo greitis, m/s.

3. Konteinerio krova tarp terminalo transporto priemonės ir sandėliavimo vietos

Kadangi sandėliavimo aikštelėje gali dirbti dviejų tipų krovos įranga, šis konteinerio ciklo etapas gali būti apibūdintas skirtingomis formulėmis:

- kai aikštelė aptarnaujama ožiniu kranu, naudojamos tos pačios formulės, apibūrinančios konteinerio krovą krantinėje (3.16), (3.17), (3.19);
- kai aikštelė aptarnaujama krautuvu, konteinerio krovą galima apibūdinti konteinerinių krautuvų krovos darbo ciklo formulėmis (3.12) ir (3.15). Šiuo atveju eliminuojami parametrai, kurie nėra tiesiogiai susiję su konteinerio aptarnavimu, o krautuvo apsisukimo trukmė įtraukiama į bendrą judėjimo trukmę. Tuomet formulė, apibūdinanti konteinerio krovą tarp terminalo transporto priemonės bei sandėliavimo vietos, yra:

$$T_3 = \varphi(t_1 + t_2 + t_4 + t_5 + t_6 + t_9), \quad (3.21)$$

čia φ – koeficientas, nusakantis operacijų persidengimą; t_1 – krautuvo griebtuvo padėties nustatymas virš konteinerio ir jo užkabinimas, s; t_2 – konteinerio pakėlimo trukmė, s; t_4 – krautuvo judėjimo su konteineriu trukmė, s; t_5 – konteinerio nuleidimo trukmė, s; t_6 – konteinerio pastatymo į vietą ir jo atkabinimo trukmė, s; t_9 – suminis laikas, sugaišamas krautuvo mechanizmų įjungimui ir išjungimui, s.

Arba konteinerio aptarnavimo krautuvu procesas gali būti apibūdinamas:

$$T_3 = \varphi \left(t_1 + \frac{H_{kont.pak}}{V_{kont.pak}} + \frac{L_{kraut}}{V_{kraut}} + \frac{H_{kont.nul}}{V_{kont.nul}} + t_6 + t_9 \right), \quad (3.22)$$

čia $H_{kont.pak}$ – konteinerio pakėlimo aukštis, m; $V_{kont.pak}$ – konteinerio pakėlimo greitis, m/s; L_{kraut} – krautuvo judėjimo atstumas, s; V_{kraut} – krautuvo judėjimo greitis, m/s; $H_{kont.nul}$ – konteinerio nuleidimo aukštis, m; $V_{kont.nul}$ – konteinerio nuleidimo

greitis, m/s. Krautuvo greitėjimo bei stabdymo trukmė atskirai nevertinama, kadangi judėjimo atstumas pakėlus konteinerį nuo vilkiko platformos yra minimalus.

4. Sandėliavimas

Sandėliavimo laikas taip pat įeina į konteinerio aptarnavimo ciklo terminale trukmę, tačiau tiesiogiai nuo terminalo veiklos jis nebepriklauso. Konteineris terminale yra laikomas tiek laiko, iki kol atvyks jo pasiimti klientas. Tai gali užtrukti nuo kelių dienų iki savaitės, kartais ir ilgiau. Tačiau tiesiogiai terminalo konteinerių aptarnavimo technologija šiam ciklo etapui įtakos neturi. Todėl laikoma, kad:

$$T_4 = \text{const}.$$

5. Konteinerio krova tarp sandėliavimo vietos ir kliento transporto priemonės

Krova tarp sandėliavimo vietos ir transporto priemonės vyksta tuo pačiu principu kaip ir trečiame konteinerio aptarnavimo ciklo etape „Konteinerio krova tarp terminalo transporto priemonės ir sandėliavimo vietos“ ir gali būti apibūdinta formulėmis (3.16), (3.17), (3.19) ar (3.21), (3.22), atsižvelgiant į tai, kokia krovos įranga konteinerius aptarnauja sandėliavimo aikštelėje.

6. Konteinerio transportavimas iš terminalo

Konteinerio transportavimo iš terminalo trukmė gali būti apibūdinta kaip laikas, per kurį kliento transporto priemonė nuvažiuoja atstumą nuo sandėliavimo aikštelės sektoriaus iki terminalo išvykimo vartų. Šis laikas apibūdinamas vilkiko važiavimo atstumo ir greičio santykiu:

$$T_6 = \frac{L_{kl}}{V_{kl}}, \quad (3.23)$$

čia L_{kl} – kliento transporto priemonės važiavimo atstumas, m; V_{kl} – kliento transporto priemonės važiavimo greitis, m/s.

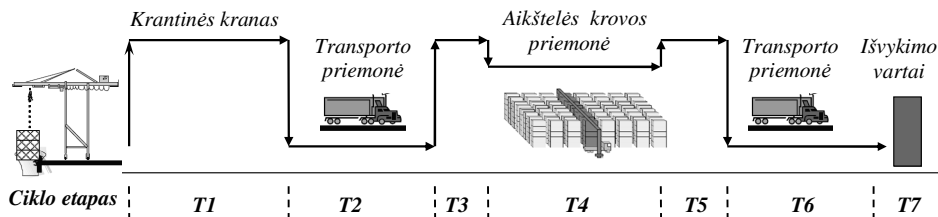
7. Dokumentų pildymas ir konteinerio būklės patikra

Dokumentų pildymas ir konteinerio būklės patikra atliekama prie išvykimo vartų. Jos metu patikrinami konteinerių lydintys dokumentai ir konteinerio išorinė būklė, kuomet patikrinama ar kelionės metu jis nebuvo pažeistas. Nuoseklus konteinerio patikrinimas atliekamas siekiant išvengti galimų krovinių nuostolių.

Kadangi su kiekvienu importuojamu konteineriu yra atliekamos visos išanalizuotos operacijos, galima teigti, kad jos atitinka atskirus konteinerio aptarnavimo ciklo etapus ir šių operacijų suma sudaro bendrą konteinerio aptarnavimo ciklą terminale:

$$T_{ciklo} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7. \quad (3.24)$$

Konteinerio aptarnavimo ciklo etapai pagal eilės seką pavaizduoti 3.3 paveiksle, kai terminale atliekamas importuojamo konteinerio aptarnavimo procesas.



3.3 pav. Konteinerio aptarnavimo ciklo etapai
Fig. 3.3. Stages of the container handling's cycle

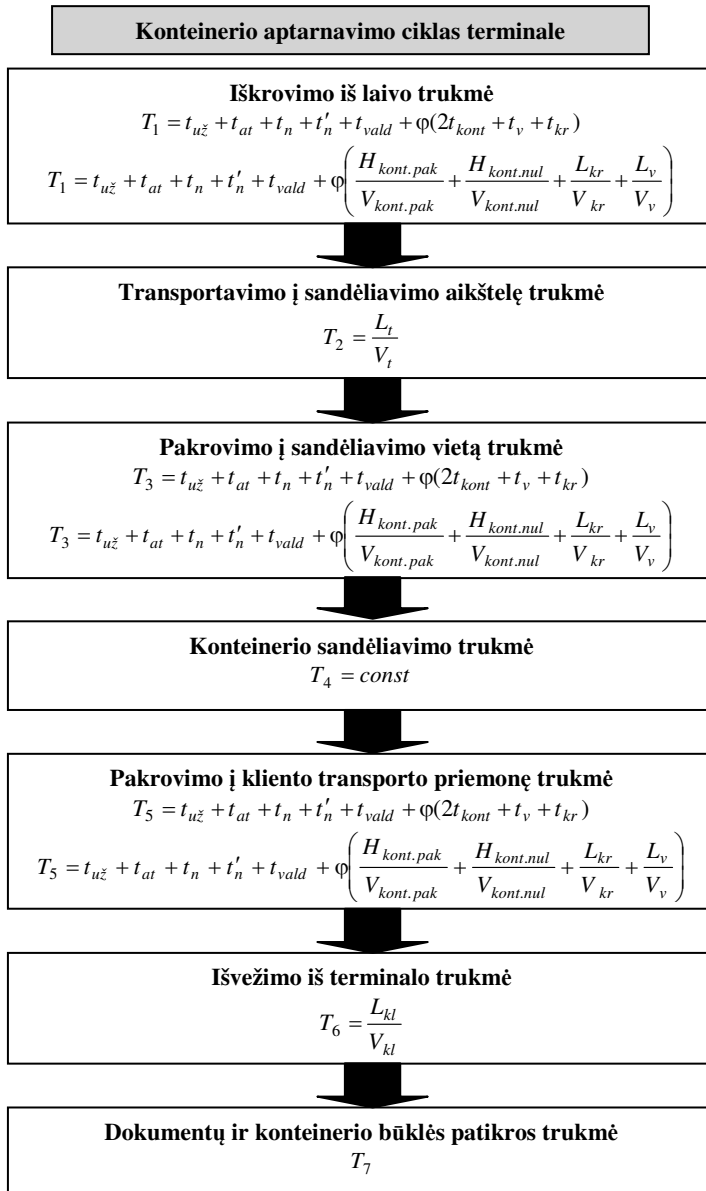
Remiantis teiginiu, kad atskirų operacijų visuma sudaro bendrą konteinerio aptarnavimo ciklą, sudarytas matematinis ciklo modelis. 3.4 paveiksle pateiktas autoriaus sudarytas konteinerio aptarnavimo ciklo modelis, kuriame matematiškai aprašytos visos aptarnavimo operacijos, kai sandėliavimo aikštelėje konteinerius aptarnauja ožinis kranas, 3.5 paveiksle – ciklo modelis, kuriame matematiškai aprašytos visos aptarnavimo operacijos, kai sandėliavimo aikštelėje konteinerius aptarnauja krautuvas. Iš pateiktų ciklo modelių galima nustatyti, kokie veiksniai lemia kiekvienos operacijos trukmę ir tuo pačiu daro įtaką bendram konteinerio aptarnavimo ciklui terminale.

3.3. Veiksnių, įtakančių konteinerio aptarnavimo ciklą, nustatymas

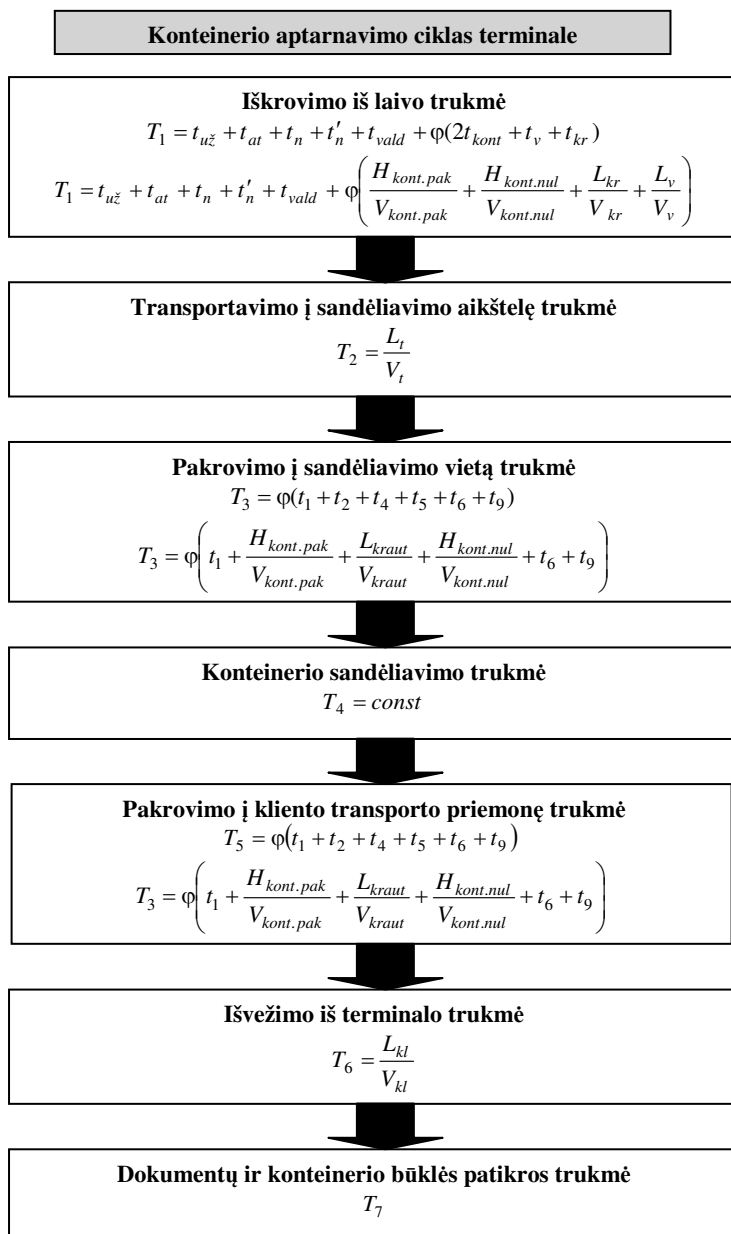
Konteinerio aptarnavimo ciklą terminale įtakoja įvairūs veiksniai, priklausantys nuo terminalo darbo specifikos, terminalo dydžio ir išplanavimo, naudojamos techninės įrangos bei žmogiškojo faktoriaus. Siekiant juos nustatyti, ciklą tikslingai išnagrinėti pagal atskirus etapus, aprašytus 3.2 skyrelyje.

1. *Krova tarp laivo ir krantinės.* Iš formulės (3.19) galima spręsti, kad konteinerio krovos trukmė priklauso nuo šių veiksnių: konteinerio kėlimo (a) aukščio ir (b) greičio, konteinerio nuleidimo (c) aukščio ir (d) greičio, kranų judėjimo (e) atstumo ir (f) greičio, kranų vežimėlio judėjimo (g) atstumo ir (h) greičio.

Pirmąjį (a) ir trečiąjį (c) veiksniai iš esmės lemia konteinerio padėtis laive sustatytų konteinerių aukštų atžvilgiu – jei konteineris yra patalpintas viršutiniame aukšte, tuomet jo kėlimo aukštis bus minimalus, nuleidimo – maksimalus (ir atvirkščiai). Panašiai yra ir su (g) veiksnium, kurį taip pat lemia konteinerio padėtis laive, tik ne aukštų, o eilių atžvilgiu – jei konteineris yra patalpintas eilėje, arčiausiai laivo krašto, tuomet vežimėlio judėjimo atstumas bus minimalus (ir atvirkščiai).



3.4 pav. Konteinerio aptarnavimo ciklo modelis, kai aikštelė aptarnaujama ožiniu kranu
Fig. 3.4. The model of the container handling's cycle when the gantry crane operates in the storage yard



3.5 pav. Konteinerio aptarnavimo ciklo modelis, kai aikštelė aptarnaujama krautuvu
Fig. 3.5. The model of the container handling's cycle when the reach stacker operates in the storage yard

Veiksnius (b), (d), (f), (h) lemia techninės įrangos pajėgumai. Veiksny (e) yra aktualus tuomet, kai nagrinėjama konteinerių aibės krova, kuomet kranas turi pajudėti laivo padėties atžvilgiu. Kraunant vieną konteinerį, šis veiksmas neatliekamas.

Į krovos trukmę taip pat įskaičiuojamas laikas, sugaištamasis griebtuvu padėties nustatymui virš konteinerio jo užkabinimui/atkabinimui, ir laikas, sugaištamasis krovos priemonės mechanizmų įjungimui/išjungimui. Taip pat būtina įvertinti ir tokį veiksni, kaip operacijų persidengimo galimybė. Šių veiksmų atlikimo trukmę iš esmės lemia krano operatoriaus profesiniai gabumai.

2. *Transportavimas tarp krantinės ir sandėliavimo aikštelės.* Iš formulės (3.20) galima spręsti, jog konteinerio transportavimo tarp krantinės ir sandėliavimo aikštelės laiką įtakoja terminalo transporto priemonės važiavimo (a) atstumas ir jos (b) greitis.

Veiksny (a) priklauso nuo terminalo dydžio ir sektorių išdėstymo sandėliavimo aikštelėje. Veiksny (b) priklauso nuo vilkiko galingumo.

3. *Krova tarp terminalo transporto priemonės ir sandėliavimo vietos.* Jei aikštelę aptarnauja ožinis kranas, tokiu atveju krovą įtakoja tie patys veiksniai kaip ir krovos tarp laivo ir krantinės atveju.

Jei aikštelę aptarnauja konteinerinis krautuvas, tuomet iš formulės (3.22) galima spręsti jog, krovos laikui įtaką daro: konteinerio kėlimo (a) aukštis ir (b) greitis, krautuvo judėjimo (c) atstumas ir (d) greitis, konteinerio nuleidimo (e) aukštis ir (f) greitis.

Veiksnius (a), (c) ir (e) lemia numatyta konteinerio sandėliavimo vieta sektoriuje. Veiksnius (b), (d), (f) lemia krovos įrangos techninės galimybės.

Taip pat būtina įvertinti operacijų persidengimo galimybę, bei trukmes, kurios sugaištamos konteinerio užkabinimui/atkabinimui ir krautuvo mechanizmų įjungimui/išjungimui. Šių veiksmų trukmę lemia krautuvo operatoriaus profesiniai gabumai.

4. *Sandėliavimas.* Kaip jau buvo minėta anksčiau, šis konteinerio ciklo etapas nuo terminalo veiklos tiesiogiai nepriklauso, dėl to jokie technologiniai terminalo veiksniai šiam etapui įtakos nedaro.
5. *Krova tarp sandėliavimo vietos ir transporto priemonės.* Šį ciklo etapą įtakoja tie patys veiksniai, kaip ir trečiajame etape. Tačiau papildomai turi būti įvertinta konteinerių perstatymo tikimybė, kai ant reikiamo konteinerio viršaus yra sustatyti kiti konteineriai ir atsiranda būtinybė juos perstatyti į kitą vietą. Šis veiksnys priklauso nuo to, kuriame aukšte konteineris sandėliuojamas.
6. *Transportavimas iš terminalo.* Transportavimo iš terminalo trukmę įtakoja du veiksniai: transporto priemonės su konteineriu važiavimo (a) atstu-

mas nuo sandėliavimo aikštelės iki terminalo išvykimo vartų, bei transporto priemonės važiavimo (b) greitis.

Veiksnys (a) priklauso nuo terminalo dydžio ir išplanavimo, o veiksnys (b) nuo transporto priemonės galingumo.

7. *Dokumentų pildymas ir konteinerio būklės patikra.* Šio etapo trukmę iš esmės lemia žmogiškasis veiksnys, t.y. muitinės darbuotojų profesiniai įgūdžiai darbą atlikti kuo greičiau.

Visi išanalizuoti konteinerio aptarnavimo ciklui įtaką darantys veiksniai, suskirstyti pagal atskirus etapus ir juos lemiančius faktorius, išvardinti 3.1 lentelėje.

Nustatyta, kad iš viso konteinerio ciklą terminale įtakoja 36 veiksniai, kurie yra tiesiogiai susiję su konteinerio aptarnavimo veikla. Tai:

T1. Konteinerio krovos tarp laivo ir krantinės etapo metu:

1. griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo užkabinimo trukmė $t_n, t_{už}$;
2. konteinerio kėlimo aukštis $H_{kont.pak}$;
3. konteinerio kėlimo greitis $V_{kont.pak}$;
4. konteinerio nuleidimo aukštis $H_{kont.nul}$;
5. konteinerio nuleidimo greitis $V_{kont.nul}$;
6. konteinerio perkėlimo horizontalia kryptimi atstumas L_v ;
7. konteinerio perkėlimo horizontalia kryptimi greitis V_v ;
8. operacijų persidengimas φ ;
9. konteinerio padėties nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo trukmė t'_n, t_{at} ;
10. krano mechanizmų įjungimo ir išjungimo trukmė t_{vald} ;

T2. Konteinerio transportavimo tarp krantinės ir sandėliavimo aikštelės etapo metu:

11. konteinerio gabenimo nuo krantinės iki sandėliavimo sektoriaus atstumas L_t ;
12. transporto priemonės judėjimo greitis V_i ;

T3. Konteinerio krovos tarp terminalo transporto priemonės ir sandėliavimo vietos etapo metu:

13. griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo užkabinimo trukmė $t_n, t_{už}$ arba t_1 ;
14. konteinerio kėlimo aukštis $H_{kont.pak}$;
15. konteinerio kėlimo greitis $V_{kont.pak}$;
16. konteinerio nuleidimo aukštis $H_{kont.nul}$;
17. konteinerio nuleidimo greitis $V_{kont.nul}$;
18. konteinerio judėjimo horizontalia kryptimi atstumas L_v arba L_{kraut} ;
19. konteinerio judėjimo horizontalia kryptimi greitis V_v arba V_{kraut} ;
20. operacijų persidengimas φ ;

3.1 lentelė. Konteinerio aptarnavimo ciklą įtakojantys veiksniai
Table 3.1. Factors influencing the container handling's cycle

Faktoriai, lemiantys veiksnius		KONTEINERIO CIKLAS					
		T ₁	T ₂	T ₃	T ₅	T ₆	T ₇
Terminalo išplanavimas	VEIKSNIAI	–	Transporto priemonės važiavimo atstumas.	–	–	Transporto priemonės važiavimo atstumas.	–
Konteinerio padėtis		Konteinerio kėlimo aukštis; Konteinerio nuleidimo aukštis; Krano vežimėlio judėjimo atstumas.	–	Dirbant kranui: Konteinerio kėlimo aukštis; Konteinerio nuleidimo aukštis; Krano vežimėlio judėjimo atstumas. ----- Dirbant krautuvui: Konteinerio kėlimo aukštis; Konteinerio nuleidimo aukštis; Krautuvo judėjimo atstumas.	Konteinerių perstatymas; Dirbant kranui: Konteinerio kėlimo aukštis; Konteinerio nuleidimo aukštis; Krano vežimėlio judėjimo atstumas. ----- Dirbant krautuvui: Konteinerio kėlimo aukštis; Konteinerio nuleidimo aukštis; Krautuvo judėjimo atstumas.	–	–
Techninės įrangos pajėgumai		Konteinerio kėlimo greitis; Konteinerio nuleidimo greitis; Krano vežimėlio judėjimo greitis; Mechanizmų įjungimo ir išjungimo trukmė.	Transporto priemonės važiavimo greitis.	Mechanizmų įjungimo ir išjungimo trukmė; Dirbant kranui: Konteinerio kėlimo greitis; Konteinerio nuleidimo greitis; Krano vežimėlio judėjimo greitis. ----- Dirbant krautuvui: Konteinerio kėlimo greitis; Krautuvo judėjimo greitis; Konteinerio nuleidimo greitis.	Mechanizmų įjungimo ir išjungimo trukmė; Dirbant kranui: Konteinerio kėlimo greitis; Konteinerio nuleidimo greitis; Krano vežimėlio judėjimo greitis. ----- Dirbant krautuvui: Konteinerio kėlimo greitis; Krautuvo judėjimo greitis; Konteinerio nuleidimo greitis.	Transporto priemonės važiavimo greitis.	–
Darbininko profesiniai gabumai		Griebtuvo padėties nustatymas virš konteinerio ir jo užkabimas; Konteinerio padėties nustatymas ties iškrovimo vieta ir jo atkabimas; Operacijų persidengimas.	–	Griebtuvo padėties nustatymas virš konteinerio ir jo užkabimas; Konteinerio padėties nustatymas ties iškrovimo vieta ir jo atkabimas; Operacijų persidengimas.	Griebtuvo padėties nustatymas virš konteinerio ir jo užkabimas; Konteinerio padėties nustatymas ties iškrovimo vieta ir jo atkabimas; Operacijų persidengimas.	–	Dokumentų pildymas ir konteinerio būklės patikra.

21. konteinerio padėties nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo trukmė t'_n , t_{at} arba t_6 ;
22. priemonės mechanizmų įjungimo ir išjungimo trukmė t_{vald} arba t_9 ;
- T5. Konteinerio krovos tarp sandėliavimo vietos ir kliento transporto priemonės etapo metu:
 23. konteinerių perstatymas;
 24. griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo užkabinimo trukmė t_n , $t_{už}$ arba t_1 ;
 25. konteinerio kėlimo aukštis $H_{kont.pak}$;
 26. konteinerio kėlimo greitis $V_{kont.pak}$;
 27. konteinerio nuleidimo aukštis $H_{kont.nul}$;
 28. konteinerio nuleidimo greitis $V_{kont.nul}$;
 29. konteinerio judėjimo horizontalia kryptimi atstumas L_v arba L_{kraut} ;
 30. konteinerio judėjimo horizontalia kryptimi greitis V_v arba V_{kraut} ;
 31. operacijų persidengimas φ ;
 32. konteinerio padėties nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo trukmė t'_n , t_{at} arba t_6 ;
 33. priemonės mechanizmų įjungimo ir išjungimo trukmė t_{vald} arba t_9 ;
- T6. Konteinerio transportavimo iš terminalo etapo metu:
 34. konteinerio gabenimo atstumas nuo sektoriaus iki išvykimo vartų L_{kl} ;
 35. transporto priemonės judėjimo greitis V_{kl} ;
- T7. Dokumentų ir konteinerio būklės patikrinimo etapo metu:
 36. dokumentų ir konteinerio būklės patikrinimo trukmė.

Remiantis nustatyta veiksnių sistema gali būti atliktas daugiakriterinis terminalo technologijų vertinimas. Tačiau pirmiausiai turi būti įvertintas kiekvieno iš išvardintų veiksnių įtakos koeficientas bendrame konteinerio cikle.

3.4. Trečiojo skyriaus išvados

1. Konteinerius aptarnaujant skirtinga krovos įranga, aptarnavimo technologinis procesas iš esmės nesikeičia, t. y. atliekamos vienodos aptarnavimo operacijos ta pačia eilės seka. Šiuo pagrindu iškelta prielaida, kad išnagrinėtų operacijų visuma sudaro bendrą konteinerio aptarnavimo ciklą ir sudarytas matematinis ciklo modelis, atsižvelgiant į aikštelėje dirbančios krovos įrangos tipą.

2. Remiantis sudarytais konteinerio ciklo modeliais, sudaryta tiesiogiai ciklą įtakančių veiksnių sistema. Nustatyta, kad konteinerio aptarnavimo terminale trukmę lemia 36 veiksniai, kurie priklauso nuo terminalo veiklos planavimo, terminalo dydžio ir išplanavimo, jame taikomos techninės įrangos bei žmoniškojo faktoriaus.

Daugiakriterinis terminalo technologijų vertinimas

Skyriuje pateikti konteinerio aptarnavimo ciklą įtakančių veiksnių tyrimo rezultatai. Remiantis apskaičiuotais veiksnių įtakos koeficientais, atliktas tradicinių terminalo technologijų daugiakriterinis vertinimas ir nustatyta efektyviausia konteinerių aptarnavimo sistema, įvertinant pajėgumus aptarnauti skirtingų apimčių konteinerių srautus.

4.1. Veiksnių reikšmingumų nustatymas eksperimentiniu metodu

3.3 skyrelyje aprašyta sudaryta veiksnių, tiesiogiai įtakančių konteinerio aptarnavimo ciklą terminale, sistema. Norint atlikti daugiakriterinį terminalo technologijų vertinimą pirmiausiai turi būti nustatyti veiksnių reikšmingumo koeficientai.

Siekiant nustatyti veiksnių reikšmingumus tikslinga išanalizuoti stebėjimo konteinerių terminaluose metu nustatytus konteinerių aptarnavimo duomenis. Tyrimas buvo atliktas dviejuose Klaipėdos valstybinio jūrų uosto konteinerių terminaluose. Stebėjimo metu buvo nustatyti konteinerių krovos kantinėje ir

sandėliavimo aikštelėje trukmės rezultatai. Krantinėje konteineriai buvo aptarnaujami RMG kranu, stebėta ir nustatyta dvidešimties konteinerių iškrovimo iš laivo trukmė. Sandėliavimo aikštelėje konteineriai buvo aptarnaujami RTG kranu, stebėta ir nustatyta penkiolikos konteinerių tarp terminalo vilkiko ir sandėliavimo vietos krovos trukmė. Išsamūs stebėjimo duomenys pateikti H priede.

Apskaičiuota, kad vidutinė konteinerių krovos trukmė sandėliavimo aikštelėje trunka 54,11 s. Krovos proceso trukmė pagal atskirus veiksmus pasiskirsto taip:

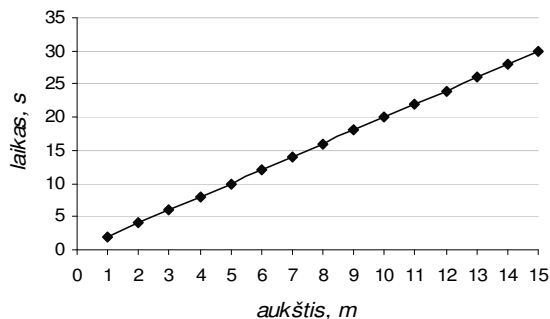
- griebtuvo nustatymas virš konteinerio ir jo užkabinimas – $12,04 \pm 5,8$ s;
- konteinerio pakėlimas – $15,50 \pm 4,0$ s;
- konteinerio nuleidimas – $17,38 \pm 5,9$ s;
- konteinerio nustatymas iškrovimo vietai ir jo atkabinimas – $9,19 \pm 5,9$ s.

Didžiausią krovos trukmės dalį sudaro konteinerio nuleidimo trukmė bei konteinerio pakėlimo trukmė, kurios priklauso nuo dviejų veiksnių – kėlimo/nuleidimo aukščio ir greičio:

$$t_{kont.pak} = \frac{H_{kont.pak}}{V_{kont.pak}}, \quad (4.1)$$

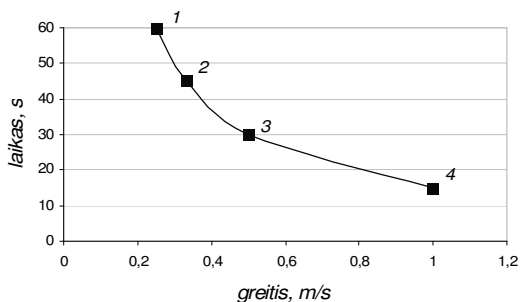
$$t_{kont.nul} = \frac{H_{kont.nul}}{V_{kont.nul}}. \quad (4.2)$$

Konteinerio kėlimo/nuleidimo aukštis skiriasi priklausomai nuo konteinerių sustatymo aukštų skaičiaus; konteinerius aikštelėje statant šešiais aukštais konteinerio kėlimo/nuleidimo aukštis gali svyruoti iki 15–16 m. 4.1 paveiksle pavaizduotas konteinerio kėlimo/nuleidimo trukmės kitimas keičiantis kėlimo aukščiui. Iš paveikslo matyti, kad didėjant konteinerio kėlimo aukščiui, kėlimo trukmė išau-ga proporcingai.

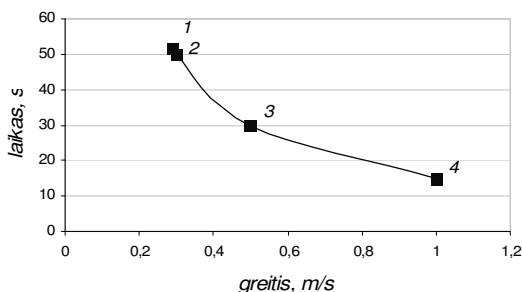


4.1 pav. Konteinerio kėlimo/nuleidimo trukmės kitimas esant skirtingam aukščiui
Fig. 4.1. Container's lifting/lowering time variation at different heights

Konteinerio kėlimo bei nuleidimo greitis skiriasi priklausomai nuo krovos įrangos tipo. 4.2 paveiksle pavaizduotas konteinerio kėlimo ir nuleidimo trukmės kitimas konteinerį aptarnaujant konteineriniu krautuvu (1), ožiniu krautuvu (2), aikštelės kranu (3) ir krantinės kranu (4), įvertinus maksimalų priemonių kėlimo ir nuleidimo greitį su krovinio ir priėmus sąlygą, kad konteineris keliamas į 15 m aukštį. Iš paveikslo matyti, kad didėjant krovos įrangos kėlimo/nuleidimo greičiui konteinerio kėlimo ir nuleidimo trukmė išauga eksponentiškai.



a)



b)

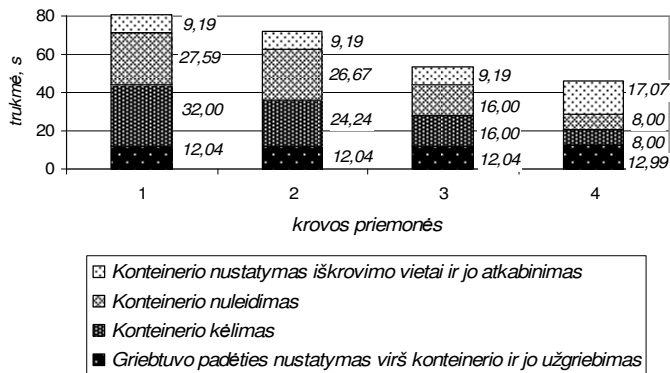
4.2 pav. Konteinerio kėlimo/nuleidimo trukmės kitimas aptarnaujant skirtingai įrangai:
a) kėlimo laikas (kai $h = \text{const}$); b) nuleidimo laikas (kai $h = \text{const}$)

Fig. 4.2. Container's lifting/lowering time variation handling by different equipment:
a) lifting time (when $h = \text{const}$); b) lowering time (when $h = \text{const}$)

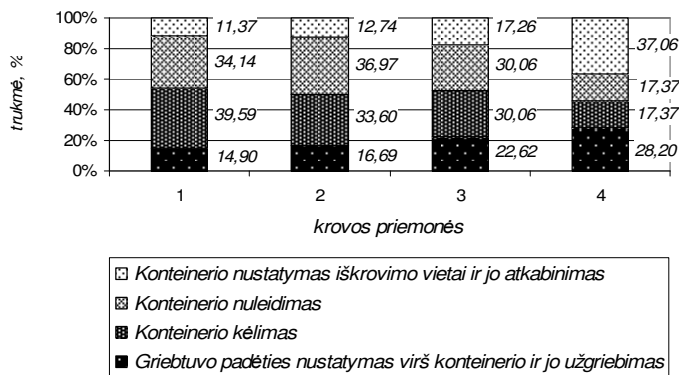
Tuo remiantis galima daryti išvadą, kad konteinerio krovybos trukmės pokyčiai didesnę įtaką turi ir dėl to reikšmingesniu veiksniais yra laikomas kėlimo/nuleidimo greitis, nei kėlimo/nuleidimo aukštis.

Remiantis krovybos priemonių techniniais parametrais apskaičiuota kiekvieno krovybos veiksmo dalis konteinerio krovybos procese. 4.3 paveiksle parodyta kaip skiriasi kiekvieno veiksmo trukmė ir dalis bendroje krovybos trukmėje dirbant skirtingai įrangai, konteinerį keliant į 8 m aukštį. Skaičiavimų rezultatai rodo, jog kon-

teinerį aptarnaujant konteineriniu krautuvu, ožiniu krautuvu ir aikštelės kranu didžiausią laiko dalį krovos procese sudaro konteinerio kėlimo bei nuleidimo trukmė. Atsižvelgiant į prieš tai priimtą išvadą galima teigti, kad didžiausią įtaką konteinerio aptarnavimo trukmei turi ir dėl to reikšmingiausias parametras konteinerio aptarnavimo ciklui yra kėlimo ir nuleidimo greitis. Taip pat labai svarbus, tačiau mažiau reikšmingas yra konteinerio kėlimo/nuleidimo aukštis. Mažiausią įtaką krovos trukmei turintys ir mažiausiai reikšmingi veiksniai yra konteinerio nustatymas iškrovimo vietai ir jo atkabinimas, bei griebtuvo padėties nustatymas virš konteinerio ir jo užgriebimas. Tuo tarpu konteinerį aptarnaujant krantinės kranu didžiausią laiko dalį krovos procese sudaro konteinerio nustatymas iškrovimo vietai ir jo atkabinimas, po kurio seka griebtuvo nustatymas virš konteinerio ir jo užgriebimas.



a)



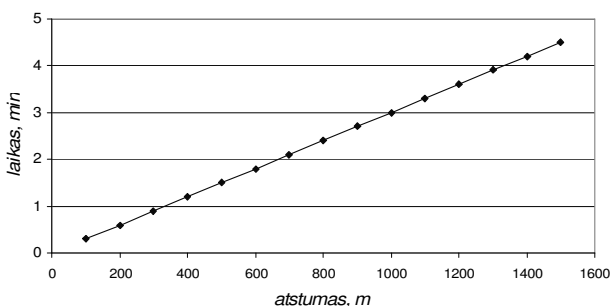
b)

4.3 pav. Konteinerio aptarnavimo trukmė kraunant skirtinga įranga: a) krovos veiksmų trukmė, s; b) krovos veiksmų dalis bendroje krovos trukmėje, %

Fig. 4.3. Container's handling time loading by different equipment: a) actions' time, s; b) actions' share in overall loading time, %

Akivaizdu, kad veiksnių įtakos prioritetą konteinerių aptarnaujant skirtinga krovos įranga skiriasi.

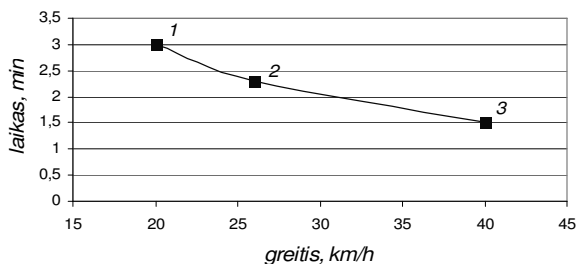
Konteinerio transportavimo terminale trukmė priklauso nuo dviejų veiksnių – transporto priemonės važiavimo atstumo ir važiavimo greičio (3.20). Konteinerio gabenimo atstumas skiriasi priklausomai nuo terminalo dydžio – vidutinio dydžio terminale konteineris gali būti transportuojamas nuo keliasdešimties iki kelių tūkstančių metrų. 4.4 paveiksle pavaizduota kaip kinta konteinerio transportavimo trukmė keičiantis gabenimo atstumui. Matyti, kad didėjant konteinerio transportavimo nuotoliui, trukmė išauga proporcingai.



4.4 pav. Konteinerio transportavimo trukmės kitimas esant skirtingam atstumui

Fig. 4.4. Container's transportation time variation at different distances

Konteinerio gabenimo greitis priklauso nuo transportavimo priemonės tipo. Remiantis terminalo transportavimo priemonių techniniais parametrais apskaičiuotas konteinerio gabenimo trukmė. 4.5 paveiksle pavaizduota kaip kinta transportavimo trukmė kai konteineris yra gabenamas vilkiku su platformų sąstatu (1), ožiniu krautuvu (2), vilkiku su platforma (3).



4.5 pav. Konteinerio transportavimo trukmės kitimas vežant skirtingomis priemonėmis

Fig. 4.5. Container's transportation time variation carrying by different vehicles

Iš paveikslo matyti, kad priklausomai nuo transportavimo priemonės greičio kitimo konteinerio transportavimo terminale trukmė išauga eksponentiškai (neproporcingai). Iš to seka, kad didesnę reikšmingumą konteinerio aptarnavimo ciklui turi konteinerio gabenimo greitis.

Stebėjimo konteinerių terminaluose metu taip pat įvertinta kiek laiko užima dokumentų tvarkymas ir konteinerio būklės patikra išvykimo vartuose. Nustatyta, kad šis procesas gali trukti nuo kelių iki dešimties minučių. Palyginus su kitais konteinerio aptarnavimo ciklo etapais šis etapas sudaro didžiausią dalį bendrame aptarnavimo cikle.

Atlikus tyrimo rezultatų analizę galima daryti išvadą, kad pagal eksperimentinio tyrimo duomenis kintant veiksnių įtakos reikšmėms nustatyti jų reikšmingumą konteinerio aptarnavimo ciklui gana sudėtinga. Todėl veiksnių reikšmėms įvertinti ir reikšmingumams apskaičiuoti pritaikytas ekspertinio vertinimo metodas.

4.2. Veiksnių reikšmingumų nustatymas ekspertiniu metodu

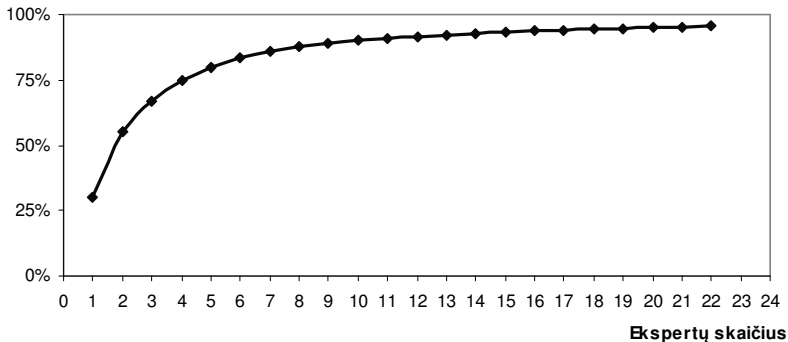
Tyrimui pasirinktas individualus ekspertinio vertinimo metodas ir tuo tikslu sudaryta apklausos anketa (pateikta A priede). Klausimynas sudarytas taip, kad būtų galima nustatyti pavienių veiksnių ir veiksnių grupių pagal ciklo etapus reikšmingumus. Ekspertams buvo pateikta užduotis įvertinti kiekvieno veiksnio įtakos konteinerio aptarnavimo trukmei svarbą atsižvelgiant į visą konteinerio buvimo terminale laiką.

Pripažinta, kad tinkamiausia ekspertinio vertinimo procedūra yra porinis lyginimas, nes ekspertui lengviau yra palyginti objektų poras ir pagal gautą porinio lyginimo informaciją lengva analizuoti ekspertų vertinimo procesą (Augustinaitis *et al.* 2009). Tačiau esant daug lyginamų objektų, porinio lyginimo procedūra reikalauja labai daug laiko, kadangi reikia atlikti $k(k-1)/2$ palyginimų. Nagrinėjamu atveju lyginant 36 veiksnius gaunasi 630 palyginimo veiksmų. Dėl šios priežasties veiksnių prioritetiškumą ekspertai vertino balais penkių skaitmenų skalėje (1 – nesvarbus veiksnys; ...; 3 – vidutiniškai svarbus veiksnys; ...; 5 – labai svarbus veiksnys).

Anketą užpildė 10 ekspertų, susijusių su intermodalinių terminalų veikla iš mokslinės bei praktinės pusės (mokslininkai ir verslo atstovai). Ekspertinis vertinimas yra laikomas tikslu ir patikimu, kadangi ekspertinę grupę sudaro ne mažiau kaip 5 ekspertai.

Yra moksliškai įrodyta, kad agreguotų ekspertinių vertinimų moduliuose su vienodais svoriais nedidelės ekspertų grupės sprendimų ir vertinimų tikslumas nenusileidžia didelės ekspertų grupės sprendimų ir vertinimų tikslumui. Daugelio mokslininkų nuomone, optimalus grupės dydis yra nuo 8 iki 10 ekspertų. Pa-

gal klasikinę testų teoriją, kuri teigia, kad agreguotų sprendimų patikimumą ir priimančiųjų sprendimą skaičių sieja greitai slopstantis netiesinis ryšys, galima laikyti, kad šiuo atveju ekspertinio vertinimo patikimumas atsižvelgiant į ekspertų skaičių siekia 90 proc. (4.6 pav.) (Augustinaitis *et al.* 2009; Brock, Hommes 1997).



4.6 pav. Ekspertų skaičiaus įtaka vertinimo patikimumui

Fig. 4.6. The impact of the quantity of experts for assessment reliability

Šaltinis: Augustinaitis et al. 2009

Detalūs ekspertų atsakymų rezultatai pateikti B priedo lentelėje.

Gauti apklausos rezultatai apdoroti naudojant PASW Statistics programą. Bendras ekspertų vertinimo suderinamumas patikrintas apskaičiuojant Kendall'o konkordancijos koeficientą, kuris lygus $W = 0,294$.

Kadangi veiksnių yra daug (t.y. daugiau nei 7), pagal rekomendacijas patikrintas konkordancijos koeficiento reikšmingumas ir apskaičiuotas Friedman'o kriterijus. Šis kriterijus lygus $\chi^2 = 125,382$. Kadangi χ^2 yra didesnis už χ^2_{lent} (66,7), kurio reikšmė parinkta atsižvelgiant į laisvės laipsnių skaičių (35) bei pasirinktą reikšmingumo lygį (0,005), galima teigti, jog apskaičiuotas konkordancijos koeficientas yra reikšmingas ir ekspertų nuomonės suderintos esant 99,5 proc. tikimybei.

Nustatius, kad apklausos rezultatus galima laikyti patikimais, apskaičiuotos vidutinės veiksnių įvertinimo reikšmės $\bar{t}_j$ ir veiksnių reikšmingumo koeficientai q_j . Skaičiavimų rezultatai pateikti 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. Veiksnių reikšmingumų vertinimo rezultatai**Table 4.1.** The results of factors' significance assessment

Vertinami veiksniai	Skaičiavimų rezultatai		
	Rangų suma $\sum_{r=1}^n t_{jr}$	Rangų vidur- kis $\bar{t}_j$	Reikš- min- gumas q_j
1	2	3	4
1.1. Griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo už- kabinimo trukmė	35	3,50	0,0250
1.2. Konteinerio kėlimo aukštis	42	4,20	0,0300
1.3. Konteinerio kėlimo greitis	46	4,60	0,0329
1.4. Konteinerio nuleidimo aukštis	38	3,80	0,0272
1.5. Konteinerio nuleidimo greitis	44	4,40	0,0315
1.6. Konteinerio perkėlimo horizontalia kryptimi atstumas	37	3,70	0,0264
1.7. Konteinerio perkėlimo horizontalia kryptimi greitis	42	4,20	0,0300
1.8. Operacijų persidengimas	42	4,20	0,0300
1.9. Konteinerio padėties nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo trukmė	36	3,60	0,0257
1.10. Krano mechanizmų įjungimo ir išjungimo trukmė	25	2,50	0,0179
2.1. Konteinerio gabenimo nuo krantinės iki sandėliavimo sektoriaus atstumas	37	3,70	0,0264
2.2. Transporto priemonės judėjimo greitis	39	3,90	0,0279
3.1. Griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo už- kabinimo trukmė	36	3,60	0,0257
3.2. Konteinerio kėlimo aukštis	41	4,10	0,0293
3.3. Konteinerio kėlimo greitis	44	4,40	0,0315
3.4. Konteinerio nuleidimo aukštis	40	4,00	0,0286
3.5. Konteinerio nuleidimo greitis	45	4,50	0,0322
3.6. Konteinerio judėjimo horizontalia kryptimi atstumas	36	3,60	0,0257
3.7. Konteinerio judėjimo horizontalia kryptimi greitis	39	3,90	0,0279
3.8. Operacijų persidengimas	43	4,30	0,0307
3.9. Konteinerio padėties nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo trukmė	38	3,80	0,0272
3.10. Priemonės mechanizmų įjungimo ir išjungimo trukmė	24	2,40	0,0172
5.1. Konteinerių perstatymas	34	3,40	0,0243
5.2. Griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo už- kabinimo trukmė	34	3,40	0,0243
5.3. Konteinerio kėlimo aukštis	43	4,30	0,0307
5.4. Konteinerio kėlimo greitis	46	4,60	0,0329
5.5. Konteinerio nuleidimo aukštis	41	4,10	0,0293
5.6. Konteinerio nuleidimo greitis	45	4,50	0,0322
5.7. Konteinerio judėjimo horizontalia kryptimi atstumas	38	3,80	0,0272
5.8. Konteinerio judėjimo horizontalia kryptimi greitis	41	4,10	0,0293
5.9. Operacijų persidengimas	42	4,20	0,0300

4.1 lentelės pabaiga

1	2	3	4
5.10. Konteinerio padėties nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo trukmė	39	3,90	0,0279
5.11. Priemonės mechanizmų įjungimo ir išjungimo trukmė	25	2,50	0,0179
6.1. Konteinerio gabenimo atstumas nuo sektoriaus iki išvykimo vartų	36	3,60	0,0257
6.2. Transporto priemonės judėjimo greitis	39	3,90	0,0279
7.1. Dokumentų ir konteinerio būklės patikrinimo trukmė	47	4,70	0,0336
			1,00

Ekspertinio vertinimo metodu nustatyta, kad iš identifikuotų veiksnių konteinerio aptarnavimo terminale trukmę labiausiai įtakoja:

1. dokumentų pildymas ir konteinerio būklės patikrinimo trukmė bei kitos muitinės procedūros ($q_{7.1} = 0,0336$);

2. konteinerio kėlimo greitis ($q_{1.3} = 0,0329$; $q_{3.3} = 0,0315$; $q_{5.4} = 0,0329$);

3. konteinerio nuleidimo greitis ($q_{1.5} = 0,0315$; $q_{3.5} = 0,322$; $q_{5.6} = 0,322$).

Ekspertinio vertinimo būdu apskaičiuoti ciklą įtakančių veiksnių reikšmingumai neprieštarauja eksperimentinio vertinimo būdu nustatytiems veiksnių prioritetams. Abiem atvejais pasitvirtina, kad didžiausią įtaką konteinerio aptarnavimo ciklui turi dokumentų ir konteinerio būklės patikra, konteinerio krovos etapu – konteinerio kėlimo ir nuleidimo greitis, o konteinerio transportavimo terminale etapu – transporto priemonės judėjimo greitis.

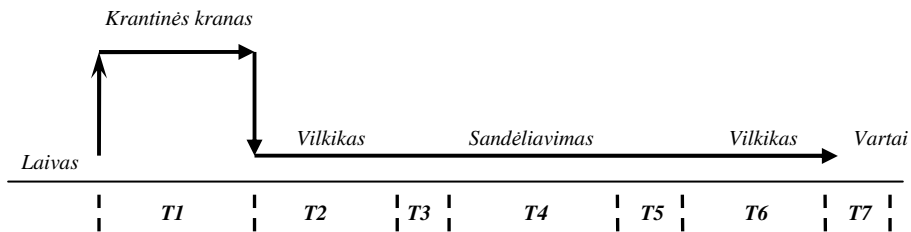
4.3. Terminalo technologijų daugiakriterinis vertinimas

Literatūros analizės metu nustatyta, kad terminale naudojamos skirtingos konteinerių aptarnavimo technologijos. Šiame skyriuje atliktas technologijų daugiakriterinis vertinimas taikant daugiakriterinio kompleksinio proporcingo įvertinimo COPRAS-G metodą. Tyrimui pasirinktos penkios konteinerių aptarnavimo sistemų alternatyvos: vilkiko su platformų sąstatu sistema, aikštelės ožinių kranų sistema, konteinerinių krautuvų sistema, ožinių krautuvų tiesioginė ir perstatomoji sistema. Daugiakriteriniam sistemų vertinimui atlikti pasirinktas hipotetinis vidutinio dydžio terminalas ir priimta prielaida, kad jo plotas yra 30 ha; skaičiavimams atlikti panaudoti stebėjimo konteinerių terminaluose duomenys (pateikti H priede).

4.3.1. Vilkiko su platformų sąstatu sistemos daugiakriterinis vertinimas

Vilkiko su platformų sąstatu sistemą sudaro vilkikai ir daugybė jų traukiamų platformų, kurie skirti TEU ir FEU konteineriams. Šie konteineriai visą buvimo terminale laiką praleidžia ant minėtų platformų, todėl labai sumažėja jų aptarnavimo sąnaudos. Konteinerių judėjimas po terminalą yra minimalus, o sandėliavimo aikštelė yra jų stovėjimo eilėmis teritorija. Naudojant šią sistemą darbo organizavimas terminale tampa sąlyginai paprastas, o terminalui iš aptarnaujančios krovos įrangos reikia tik krantinės kranų. Pagrindinis šios sistemos trūkumas – nemaža sandėliavimo teritorija, kur konteinerius galima krauti tik vienu lygiu.

Kaip konteineris yra aptarnaujamas nagrinėjama 1-ąja alternatyva pavaizduota 4.7 paveiksle.



4.7 pav. Konteinerio judėjimo terminale trajektorija, kai jis aptarnaujamas vilkiko su platformų sąstatu sistema

Fig. 4.7. Container's movement trajectory when handled by multi-trailer system

Konteinerio aptarnavimo operacijose dalyvauja dvi techninės priemonės: krantinės kranas ir terminalo vilkikas su platformų sąstatu. Skaičiavimams atlikti pasirinktos konkrečios krovos ir transportavimo priemonės, pagal kurių techninius parametrus nustatytos pradinės veiksnių reikšmės. Šiuo atveju pasirinktos priemonės yra:

- 1) 50 t keliantis Konecranes krantinės kranas „Typical Post Panamax STS Container Crane“, aptarnaujantis 14 eilių ant laivo denio;
- 2) Terberg terminalo vilkikas.

Detalesnės priemonių techninės charakteristikos pateiktos C priede.

Skaičiavimams atlikti reikalingos pradinės veiksnių reikšmės nustatytos toliau tvarka:

1 etapas. Konteinerio krova tarp laivo ir krantinės

Griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo užkabinimo laiko $\otimes x_{1,1}$ bei nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo laiko $\otimes x_{1,9}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – pagal terminaluose atlikto stebėjimo metu nustatytus duomenis ($w_{1,1} = 7,6$ s; $w_{1,9} = 4,4$ s); maksimali reikšmė nustatyta iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų normatyvinių laiko lentelių ($b_{1,1} = 30$ s; $b_{1,9} = 40$ s).

Konteinerio kėlimo $\otimes x_{1,2}$ bei nuleidimo $\otimes x_{1,4}$ aukščių reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – laikoma, kad konteineris pakeliamas minimaliu atstumu tam, kad galėtų būti perkeltas horizontalia kryptimi virš kitų konteinerių ($w_{1,2} = 0,5$ m, $w_{1,4} = 0,5$ m); maksimali kėlimo reikšmė nustatyta pagal krantinės kranų galimą maksimalų kėlimo aukštį, nurodytą priemonės techninėje charakteristikoje – šiuo atveju konteinerio kėlimo aukštis yra apskaičiuotas sudedant maksimalų kėlimo aukštį į viršų nuo geležinkelio bėgių iki galimos griebtuvo viršutinės padėties ir nuleidimo aukštį žemyn nuo geležinkelio bėgių iki galimos apatinės griebtuvo padėties ($b_{1,2} = 42,5$ m); maksimali nuleidimo reikšmė nustatyta pagal maksimalų kėlimo aukštį nuo geležinkelio bėgių iki galimos griebtuvo viršutinės padėties, tačiau atsižvelgiant į tai, kad konteineris kraunamas ant vilkiko platformos ($b_{1,4} = 28,5$ m).

Konteinerio perkėlimo horizontalia kryptimi atstumo $\otimes x_{1,6}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – nustatytas ir apskaičiuotas minimalus atstumas nuo konteinerio padėties laive arčiausiai krantinės iki artimiausio konteinerio iškrovimo taško ($w_{1,6} = 8,4$ m); maksimali reikšmė – nustatytas ir apskaičiuotas krovos priemonės maksimalus griebtuvo judėjimo horizontalia kryptimi atstumas ($b_{1,6} = 75$ m).

Konteinerio pakėlimo $\otimes x_{1,3}$, nuleidimo $\otimes x_{1,6}$ ir transportavimo horizontalia kryptimi $\otimes x_{1,7}$ greičių reikšmės nustatytos iš krantinės kranų techninės charakteristikos duomenų: maksimali reikšmė – laikoma, kad perkeliamas konteineris yra tuščias ($b_{1,3} = 85,7$ m/min, $b_{1,5} = 85,7$ m/min, $b_{1,7} = 180$ m/min), minimali reikšmė – laikoma, kad perkeliamas konteineris yra su kroviniu ir sudaro 70 proc. maksimalaus priemonės greičio ($w_{1,3} = 60$ m/min, $w_{1,5} = 60$ m/min, $w_{1,7} = 126$ m/min).

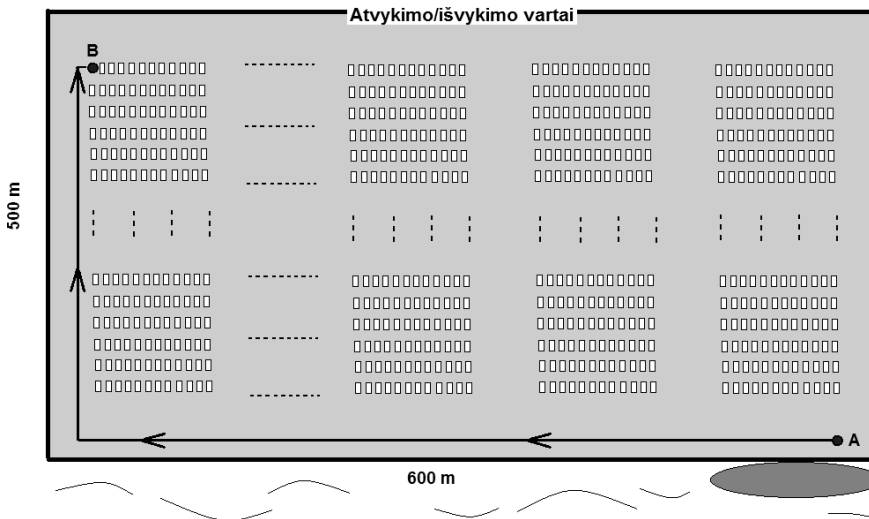
Operacijų persidengimo koeficiento $\otimes x_{1,8}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) nurodytų normatyvų ožiniam kranui ($w_{1,8} = 0,8$); maksimali reikšmė – laikoma, kad kelios operacijos vienu metu nevyksta ($b_{1,8} = 1$).

Krovos priemonės mechanizmų įjungimo ir išjungimo laiko $\otimes x_{1,10}$ reikšmės nustatytos iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų laiko normatyvų ožiniam kranui ($w_{1,10} = 2$ s, $b_{1,10} = 2,5$ s).

2 etapas. Konteinerio transportavimas tarp krantinės ir sandėliavimo aikštelės

6 etapas. Konteinerio transportavimas iš terminalo

Abiems etapams konteinerio transportavimo atstumo reikšmės yra imamos analogiškos. Konteinerio gabenimo atstumo $\otimes x_{2,1}$ ir $\otimes x_{6,1}$ reikšmės nustatytos: minimali – iš natūrinio stebėjimo metu gautų duomenų ($w_{2,1} = w_{6,1} = 20$ m). Siekiant nustatyti konteinerio transportavimo terminale maksimalų atstumą sudarytas terminalo sandėliavimo aikštelės išplanavimo modelis pagal sandėliuojamų konteinerių sektorių išdėstymą (4.8 pav.). Praktikoje terminalo vilkiko judėjimo atstumas priklauso nuo terminale nustatytų vidaus transporto priemonių maršrutų, tačiau šiuo atveju keliama hipotezė, kad atvykęs konteineris turi būti pervežtas įmanomai tolimiausiu atstumu.



4.8 pav. Terminalo, kuriame konteinerius aptarnauja vilkiko su platformų sąstatu sistema, išplanavimas

Fig. 4.8. Terminal's layout when multi-trailer system operates

Maksimalus konteinerio gabenimo nuo krantinės iki sandėliavimo sektoriaus vietos atstumas (paveiksle A–B) apskaičiuotas pagal formulę:

$$l_{kont} = a + b, \quad (4.3)$$

čia a – sandėliavimo aikštelės ilgis, m; b – sandėliavimo aikštelės plotis, m.

Pagal iškeltą prielaidą, kad terminalo plotas yra 30 ha, sandėliavimo aikštelės ilgis ir plotis atitinkamai yra lygūs 600 m ir 500 m. Tuomet maksimalus konteinerio transportavimo atstumas yra $b_{2,1} = b_{6,1} = 1100$ m.

Konteinerio transportavimo greitis šiais etapais skiriasi, kadangi nuo kraninės iki sandėliavimo aikštelės konteineris gabenamas vilkiko su platformų sąstatu sistema, o transportuojant iš terminalo – įprastiniu kelių transporto vilkiku.

Vilkiko su platformų sąstatu sistema judėjimo greičio $\otimes x_{2,2}$ reikšmės nustatytos: maksimali reikšmė – nustatytas maksimalus galimas priemonės greitis terminale ($b_{2,2} = 2$ km/h) (Goussiatiner 2010); minimali reikšmė – laikoma, kad konteineriai yra pakrauti ir judėjimo greitis sudaro 70 proc. maksimalaus priemonės judėjimo greičio ($w_{2,2} = 14$ km/h).

Kelių transporto vilkiko judėjimo greičio $\otimes x_{6,2}$ reikšmės nustatytos: maksimali reikšmė – nustatytas maksimalus vilkiko terminale greitis ($b_{6,2} = 40$ km/h); minimali reikšmė – laikoma, kad konteineris yra su kroviniu ir judėjimo greitis sudaro 70 proc. maksimalaus priemonės judėjimo greičio ($w_{6,2} = 28$ km/h).

3 etapas. Konteinerio krova tarp terminalo transporto priemonės ir sandėliavimo vietos

5 etapas. Konteinerio krova tarp sandėliavimo vietos ir kliento transporto priemonės

Šių etapų vilkiko su platformų sąstatu sistema aptaraujamo konteinerio cikle nėra, kadangi konteineriai sandėliuojami ant platformų ir krova nevykdoma.

7 etapas. Dokumentų ir konteinerio būklės patikra

Konteinerio būklės ir dokumentų patikra $\otimes x_{7,1}$ paprastai trunka nuo kelių iki dešimties minučių ($w_{7,1} = 2$ min, $b_{7,1} = 10$ min).

1 alternatyvos pradinės veiksnių reikšmės ir pagal formules (2.43)–(2.52) atliktų skaičiavimų rezultatai pateikti 4.2 lentelėje.

4.2 lentelė. 1 alternatyvos pradinės veiksnių reikšmės ir skaičiavimų rezultatai
Table 4.2. Initial values of factors and calculating results of the 1st alternative

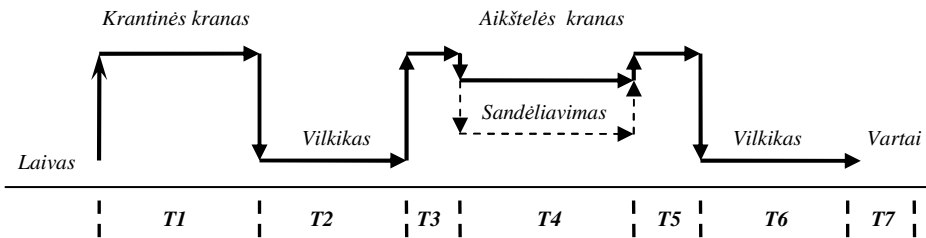
Vertinamas veiksnys	Optimizavimo kryptis	Veiksnių reikšmės	Suma	1 alternatyvos pradinės reikšmės		Normalizuotos reikšmės		Pasvertos reikšmės		Pi	Ri
				w	b	w	b	w	b		
1.1.	min	0,0250	225,6	7,6	30	0,0674	0,2660	0,0017	0,0066		0,00417
1.2.	min	0,0300	258,0	0,5	42,5	0,0039	0,3295	0,0001	0,0099		0,00500
1.3.	max	0,0329	874,2	60	85,7	0,1373	0,1961	0,0045	0,0065	0,00548	
1.4.	min	0,0272	177,0	0,5	28,5	0,0056	0,3220	0,0002	0,0088		0,00446
1.5.	max	0,0315	874,2	60	85,7	0,1373	0,1961	0,0043	0,0062	0,00525	
1.6.	min	0,0264	500,4	8,4	75	0,0336	0,2998	0,0009	0,0079		0,00440
1.7.	max	0,0300	1836,0	126	180	0,1373	0,1961	0,0041	0,0059	0,00500	
1.8.	min	0,0300	10,8	0,8	1	0,1481	0,1852	0,0044	0,0056		0,00500
1.9.	min	0,0257	259,4	4,4	40	0,0339	0,3084	0,0009	0,0079		0,00440
1.10.	min	0,0179	27,0	2	2,5	0,1481	0,1852	0,0027	0,0033		0,00298
2.1.	min	0,0264	7083,5	20	1100	0,0056	0,3106	0,0001	0,0082		0,00417
2.2.	max	0,0279	369,1	14	20	0,0759	0,1084	0,0021	0,0030	0,00257	
3.1.	min	0,0257	232,6	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
3.2.	min	0,0293	66,4	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
3.3.	max	0,0315	273,4								
3.4.	min	0,0286	78,4	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
3.5.	max	0,0322	275,3								
3.6.	min	0,0257	167,3	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
3.7.	max	0,0279	1699,6								
3.8.	min	0,0307	9,2								
3.9.	min	0,0272	199,2	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
3.10.	min	0,0172	51,0	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
5.1.	min	0,0243	14,0	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
5.2.	min	0,0243	188,4	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
5.3.	min	0,0307	79,9	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
5.4.	max	0,0329	273,4								
5.5.	min	0,0293	64,9	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
5.6.	max	0,0322	275,3								
5.7.	min	0,0272	674,3	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
5.8.	max	0,0293	2751,5								
5.9.	min	0,0300	9,2	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
5.10.	min	0,0279	236,6	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
5.11.	min	0,0179	51,0	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
6.1.	min	0,0257	6003,5	20	1100	0,0067	0,3665	0,0002	0,0094		0,00479
6.2.	max	0,0279	408,0	28	40	0,1373	0,1961	0,0038	0,0055	0,00465	
7.1.	min	0,0336	72,0	2	10	0,0556	0,2778	0,0019	0,0093		0,00560
sum Pi										0,02295	
sum Ri											0,04497

Apskaičiuota, kad vilkiko su platformų sąstatu sistemos maksimizuojamųjų rodiklių suma yra lygi $P_i = 0,02295$, minimizuojamųjų – $R_i = 0,04497$.

4.3.2. Aikštelės ožinių kranų sistemos daugiakriterinis vertinimas

Taikant ožinių kranų sistemą, konteineriai nuo krantinės iki aikštelės krano pristatomi terminalo vilkikais, o sandėliavimo aikštelėje dažniausiai yra sustatomi ilgomis eilėmis išilgai krantinei. Aikštelės kranai naudojami konteineriams pakrauti, nukrauti ar perstatyti sektoriaus eilėje. Vienas esminių šios sistemos privalumų – efektyvus teritorijos išnaudojimas.

Konteinerio aptarnavimas nagrinėjama 2-ąja alternatyva pavaizduotas 4.9 paveiksle.



4.9 pav. Konteinerio judėjimo terminale trajektorija, kai jis aptarnaujamas aikštelės ožinių kranų sistema

Fig. 4.9. Container's movement trajectory when handled by yard gantry cranes system

Konteinerio aptarnavimo operacijose dalyvauja trys techninės priemonės: krantinės kranas, terminalo vilkikas ir aikštelės ožinis kranas.

Šiuo atveju aikštelės ožinių kranų sistema išskirta į du tipus – RTG kranų sistema (2a alternatyva) ir RMG kranų sistema (2b alternatyva).

2a alternatyvos atveju pasirinktos priemonės yra:

- 1) 50 t keliantis Konecranes krantinės kranas „Typical Post Panamax STS Container Crane“, aptarnaujantis 14 eilių ant laivo denio;
- 2) Terberg terminalo vilkikas;
- 3) 50,8 t keliantis Konecranes aikštelės kranas „50LT Rubber Tyred Gantry Crane“, konteinerius aikštelėje kraunantis 5 aukštais ir aptarnaujantis 6 (+1) eiles.

2b alternatyvos atveju pasirinktos priemonės:

- 1) 50 t keliantis Konecranes krantinės kranas „Typical Post Panamax STS Container Crane“, aptarnaujantis 14 eilių ant laivo denio;
- 2) Terberg terminalo vilkikas;
- 3) 50,8 t keliantis Konecranes aikštelės kranas „50LT Rail Mounted Gantry Crane“, konteinerius aikštelėje kraunantis 5 aukštais ir aptarnaujantis 6 (+1) eiles.

Detalesnės priemonių techninės charakteristikos pateiktos C priede.

Skaiciavimams atlikti reikalingos pradinės veiksmų reikšmės 2a ir 2b alternatyvoms nustatytos tokia tvarka:

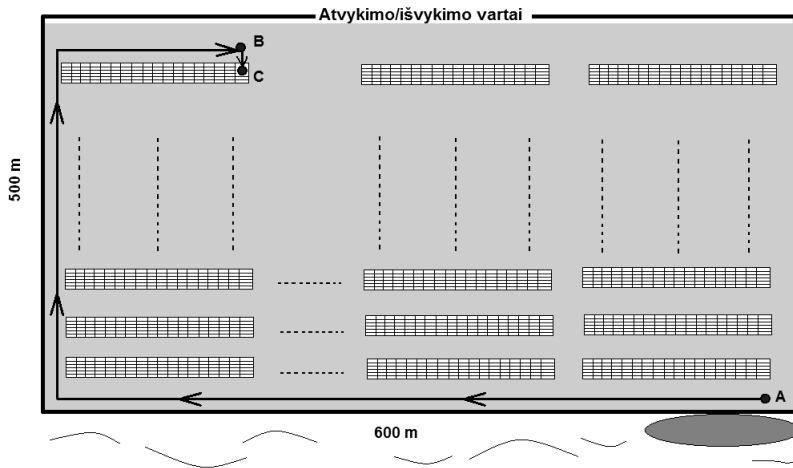
1 etapas. Konteinerio krova tarp laivo ir krantinės

Kadangi visose alternatyvose konteinerį iš laivo krauna tas pats krantinės kranas, veiksmų reikšmės nustatytos identiškai 1 alternatyvai.

2 etapas. Konteinerio transportavimas tarp krantinės ir sandėliavimo aikštelės

6 etapas. Konteinerio transportavimas iš terminalo

Abiem etapams veiksnių reikšmės yra imamos analogiškos. Konteinerio gabenimo atstumo $\otimes x_{2,1}$ ir $\otimes x_{6,1}$ reikšmės nustatytos: minimali – iš natūrinio stebėjimo metu gautų duomenų ($w_{2,1} = w_{6,1} = 20$ m). Siekiant nustatyti konteinerio transportavimo terminale maksimalų atstumą sudarytas terminalo sandėliavimo aikštelės išplanavimo modelis pagal konteinerių sektorių išdėstymą (4.10 pav.). Abiejų alternatyvų atvejais sandėliavimo aikštelės išplanavimas yra vienodas ir yra laikoma, kad aikštelę sudaro tipiniai sektoriai, kurių ilgis lygus 20 konteinerių ilgiui, o plotis – 6 konteinerių pločiui.



4.10 pav. Terminalo, kuriame konteinerius aptarnauja RTG ir RMG kranų sistemos, išplanavimas

Fig. 4.10. Terminal's layout when RTG and RMG cranes systems operate

Tokiu atveju maksimalus konteinerio gabenimo nuo krantinės iki sandėliavimo sektoriaus vietos atstumas (paveiksle A–B) apskaičiuotas pagal formulę:

$$l_{kont} = a + b + l_s, \quad (4.4)$$

čia a – sandėliavimo aikštelės ilgis, m; b – sandėliavimo aikštelės plotis, m; l_s – sektoriaus ilgis, m.

čia $l_s = 20 \cdot a_{kont}$, kur a_{kont} – konteinerio ilgis, m (6,058 m).

Tuomet maksimalus konteinerio transportavimo atstumas yra $b_{2,1} = b_{6,1} = 1221,2$ m.

Transporto priemonės judėjimo greičio $\otimes x_{2,2}$ ir $\otimes x_{6,2}$ reikšmės nustatytos: maksimali reikšmė – imamas maksimalus vilkiko judėjimo terminale greitis

($b_{2,2} = b_{6,2} = 40$ km/h); minimali reikšmė – laikoma, kad konteineriai yra su kroviniu ir judėjimo greitis sudaro 70 proc. maksimalaus priemonės judėjimo greičio ($w_{2,2} = w_{6,2} = 28$ km/h).

3 etapas. Konteinerio krova tarp terminalo transporto priemonės ir sandėliavimo vietos

Griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo užkabinimo laiko $\otimes x_{3,1}$ bei nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo laiko $\otimes x_{3,9}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – pagal terminaluose atlikto natūrinio stebėjimo metu gautus duomenis ($w_{3,1} = 7,4$ s; $w_{3,9} = 3,8$ s); maksimali reikšmė nustatyta iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų normatyvinių laiko lentelių ($b_{3,1} = 39$ s; $b_{3,9} = 33$ s).

Konteinerio kėlimo $\otimes x_{3,2}$ bei nuleidimo $\otimes x_{3,4}$ aukščių reikšmės nustatytos: minimali kėlimo reikšmė – laikoma, kad konteineris pakeliamas minimaliu atstumu tam, kad galėtų būti pakeltas nuo vilkiko platformos ir perkeltas horizontalia kryptimi ($w_{3,2} = 0,5$ m), minimali nuleidimo reikšmė apskaičiuojama susumuojant minimalų pakėlimo nuo vilkiko aukštį ir vilkiko platformos aukštį ($w_{3,4} = 2,0$ m); maksimali kėlimo reikšmė – nustatyta pagal ožinio krano maksimalų kėlimo aukštį išskaičiavus vilkiko platformos aukštį (2a alternatyvos atveju $b_{3,2} = 16,5$ m, 2b alternatyvos atveju $b_{3,2} = 16,9$ m), maksimali nuleidimo reikšmė nustatyta pagal priemonės maksimalų kėlimo aukštį (2a alternatyvos atveju $b_{3,4} = 18$ m, 2b alternatyvos atveju $b_{3,4} = 18,4$ m).

Konteinerio perkėlimo horizontalia kryptimi atstumo $\otimes x_{3,6}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – apskaičiuotas minimalus atstumas nuo konteinerio padėties ant vilkiko platformos iki artimiausios konteinerio sandėliavimo vietos pirmoje eilėje ($w_{3,6} = 5$ m); maksimali reikšmė – nustatytas ir apskaičiuotas krovos priemonės maksimalus griebtuvo judėjimo horizontalia kryptimi atstumas ($b_{3,6} = 18,05$ m).

Konteinerio pakėlimo $\otimes x_{3,3}$, nuleidimo $\otimes x_{3,5}$ ir transportavimo horizontalia kryptimi $\otimes x_{3,7}$ greičių reikšmės nustatytos iš ožinio krano techninės charakteristikos: minimali reikšmė – nustatyta pagal priemonės techninėje charakteristikoje nurodytą konteinerio kėlimo/nuleidimo/judėjimo greitį su kroviniu (2a alternatyvos atveju $w_{3,3} = 30$ m/min, $w_{3,5} = 30$ m/min; $w_{3,7} = 70$ m/min; 2b alternatyvos atveju $w_{3,3} = 30$ m/min, $w_{3,5} = 30$ m/min; $w_{3,7} = 150$ m/min); maksimali reikšmė – laikoma, kad perkeliamas konteineris yra tuščias (2a alternatyvos atveju $b_{3,3} = 42,8$ m/min; $b_{3,5} = 42,8$ m/min; $b_{3,7} = 100$ m/min; 2b alternatyvos atveju $b_{3,3} = 42,8$ m/min; $b_{3,5} = 42,8$ m/min; $b_{3,7} = 214,3$ m/min).

Operacijų persidengimo koeficiento $\otimes x_{3,8}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) nurodytą norma-

tyvų ožiniam kranui ($w_{3,8} = 0,8$); maksimali reikšmė – laikoma, kad kelios operacijos vienu metu nevyksta ($b_{3,8} = 1$).

Krovos priemonės mechanizmų įjungimo ir išjungimo laiko $\otimes x_{3,10}$ reikšmės nustatytos iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų laiko normatyvų ožiniam kranui ($w_{1,10} = 2$ s, $b_{1,10} = 2,5$ s).

5 etapas. Konteinerio krova tarp sandėliavimo vietos ir kliento transporto priemonės

Konteinerių perstatymo $\otimes x_{5,1}$ reikšmės nustatytos: minimali – laikoma, kad aptarnaujamas konteineris sandėliuojamas viršutinėje eilėje ir perstatymo atlikti nereikia ($w_{5,1} = 0$); maksimali – laikoma, kad konteineris sandėliuojamas apatinėje eilėje ir reikia nukrauti keturis konteinerius, esančius virš jo ($b_{5,1} = 4$).

Griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo užkabinimo laiko $\otimes x_{5,2}$ bei nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo laiko $\otimes x_{5,10}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – pagal terminaluose atlikto natūrinio stebėjimo metu gautus duomenis ($w_{5,2} = 7,6$ s; $w_{5,10} = 4,4$ s); maksimali reikšmė nustatyta iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų normatyvinių laiko lentelių ($b_{5,2} = 30$ s; $b_{5,10} = 40$ s).

Konteinerio kėlimo $\otimes x_{5,3}$ bei nuleidimo $\otimes x_{5,5}$ aukščių reikšmės nustatytos: minimali kėlimo reikšmė – laikoma, kad konteineris pakeliamas minimaliu atstumu tam, kad galėtų būti pakeltas nuo žemės ir perkeltas horizontalia kryptimi ant vilkiko platformos ($w_{5,3} = 2$ m), nuleidimo minimali reikšmė – laikoma, kad konteineris yra pakeltas minimaliu atstumu tokia aukštyje, kad saugiai būtų perkeltas horizontalia kryptimi ir nuleistas ant vilkiko platformos ($w_{5,5} = 0,5$ m); maksimali kėlimo reikšmė – nustatyta pagal techninėje charakteristikoje nurodytą maksimalų kėlimo aukštį (2a alternatyvos atveju $b_{5,3} = 18$ m, 2b alternatyvos atveju $b_{5,3} = 18,4$ m), nuleidimo maksimali reikšmė nustatyta iš priemonės maksimalaus kėlimo aukščio išskaičiuojant vilkiko platformos aukštį (2a alternatyvos atveju $b_{5,5} = 16,5$ m, 2b alternatyvos atveju $b_{5,5} = 16,9$ m).

Konteinerio perkėlimo horizontalia kryptimi atstumo $\otimes x_{5,7}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – nustatytas ir apskaičiuotas minimalus perkėlimo atstumas nuo konteinerio sandėliavimo vietos iki padėties ant vilkiko platformos ($w_{5,7} = 5$ m); maksimali reikšmė – nustatytas krovos priemonės maksimalus griebtuvo judėjimo atstumas horizontalia kryptimi ($b_{5,7} = 18,05$ m).

Konteinerio pakėlimo $\otimes x_{5,4}$, nuleidimo $\otimes x_{5,6}$ ir transportavimo horizontalia kryptimi $\otimes x_{5,8}$ greičių reikšmės, operacijų persidengimo koeficiento $\otimes x_{5,9}$ reikšmės ir krovos priemonės mechanizmų įjungimo ir išjungimo laiko $\otimes x_{3,11}$ reikšmės yra identiškos 3 etapo reikšmėms.

7 etapas. Dokumentų ir konteinerio būklės patikra

Reikšmės nustatytos analogiškai kaip ir 1-oje alternatyvoje.

2a alternatyvos pradinės veiksmų reikšmės ir pagal formules (2.43)–(2.52) atliktų skaičiavimų rezultatai pateikti 4.3 lentelėje, 2b alternatyvos – 4.4 lentelėje.

4.3 lentelė. 2a alternatyvos pradinės veiksmų reikšmės ir skaičiavimų rezultatai

Table 4.3. Initial values of factors and calculating results of the 2a alternative

Vertinamas veiksnys	Optimizavimo kryptis	Veiksnių reikšmingumas	Suma	2a alternatyvos pradinės reikšmės		Normalizuotos reikšmės		Pasvertos reikšmės		Pi	Ri
				w	b	w	b	w	b		
1.1.	min	0,0250	225,6	7,6	30,0	0,0674	0,2660	0,0017	0,0066		0,00417
1.2.	min	0,0300	258,0	0,5	42,5	0,0039	0,3295	0,0001	0,0099		0,00500
1.3.	max	0,0329	874,2	60	85,7	0,1373	0,1961	0,0045	0,0065	0,00548	
1.4.	min	0,0272	177,0	0,5	28,5	0,0056	0,3220	0,0002	0,0088		0,00446
1.5.	max	0,0315	874,2	60	85,7	0,1373	0,1961	0,0043	0,0062	0,00525	
1.6.	min	0,0264	500,4	8,4	75,0	0,0336	0,2998	0,0009	0,0079		0,00440
1.7.	max	0,0300	1836,0	126	180,0	0,1373	0,1961	0,0041	0,0059	0,00500	
1.8.	min	0,0300	10,8	0,8	1,0	0,1481	0,1852	0,0044	0,0056		0,00500
1.9.	min	0,0257	259,4	4,4	40,0	0,0339	0,3084	0,0009	0,0079		0,00440
1.10.	min	0,0179	27,0	2	2,5	0,1481	0,1852	0,0027	0,0033		0,00298
2.1.	min	0,0264	7083,5	20	1221,2	0,0056	0,3448	0,0001	0,0091		0,00463
2.2.	max	0,0279	369,1	28	40,0	0,1517	0,2167	0,0042	0,0060	0,00514	
3.1.	min	0,0257	232,6	7,4	39,0	0,0636	0,3353	0,0016	0,0086		0,00513
3.2.	min	0,0293	66,4	0,5	16,5	0,0151	0,4970	0,0004	0,0146		0,00750
3.3.	max	0,0315	273,4	30	42,8	0,2195	0,3131	0,0069	0,0099	0,00839	
3.4.	min	0,0286	78,4	2	18,0	0,0510	0,4592	0,0015	0,0131		0,00730
3.5.	max	0,0322	275,3	30	42,8	0,2179	0,3109	0,0070	0,0100	0,00851	
3.6.	min	0,0257	167,3	5	18,1	0,0598	0,2158	0,0015	0,0055		0,00354
3.7.	max	0,0279	1699,6	70	100,0	0,0824	0,1177	0,0023	0,0033	0,00279	
3.8.	min	0,0307	9,2	0,8	1,0	0,1749	0,2186	0,0054	0,0067		0,00604
3.9.	min	0,0272	199,2	3,8	33,0	0,0382	0,3313	0,0010	0,0090		0,00502
3.10.	min	0,0172	51,0	2	2,5	0,0784	0,0980	0,0013	0,0017		0,00152
5.1.	min	0,0243	14,0	0	4,0	0,0000	0,5714	0,0000	0,0139		0,00694
5.2.	min	0,0243	188,4	7,6	30,0	0,0807	0,3185	0,0020	0,0077		0,00485
5.3.	min	0,0307	79,9	2	18,0	0,0501	0,4506	0,0015	0,0138		0,00768
5.4.	max	0,0329	273,4	30	42,8	0,2195	0,3131	0,0072	0,0103	0,00876	
5.5.	min	0,0293	64,9	0,5	16,5	0,0154	0,5085	0,0005	0,0149		0,00767
5.6.	max	0,0322	275,3	30	42,8	0,2179	0,3109	0,0070	0,0100	0,00851	
5.7.	min	0,0272	674,3	5	18,1	0,0148	0,0535	0,0004	0,0015		0,00093
5.8.	max	0,0293	2751,5	70	100,0	0,0509	0,0727	0,0015	0,0021	0,00181	
5.9.	min	0,0300	9,2	0,8	1,0	0,1749	0,2186	0,0052	0,0066		0,00590
5.10.	min	0,0279	236,6	4,4	40,0	0,0372	0,3381	0,0010	0,0094		0,00524
5.11.	min	0,0179	51,0	2	2,5	0,0784	0,0980	0,0014	0,0018		0,00158
6.1.	min	0,0257	6003,5	20	1221,2	0,0067	0,4068	0,0002	0,0105		0,00531
6.2.	max	0,0279	408,0	28	40,0	0,1373	0,1961	0,0038	0,0055	0,00465	
7.1.	min	0,0336	72,0	2	10,0	0,0556	0,2778	0,0019	0,0093		0,00560
sum Pi										0,06430	
sum Ri											0,12279

Apskaičiuota, kad RTG kranų sistemos maksimizuojamųjų rodiklių suma yra lygi $P_i = 0,06430$, minimizuojamųjų – $R_i = 0,12279$.

4.4 lentelė. 2b alternatyvos pradinės veiksnių reikšmės ir skaičiavimų rezultatai**Table 4.4.** Initial values of factors and calculating results of the 2b alternative

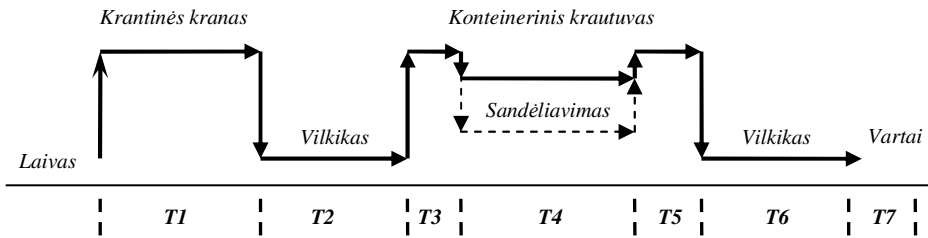
Vertinamas veiksnys	Optimizavimo kryptis	Veiksnių reikšmės	Suma	2b alternatyvos pradinės reikšmės		Normalizuotos reikšmės		Pasvertos reikšmės		Pi	Ri
				w	b	w	b	w	b		
1.1.	min	0,0250	225,6	7,6	30,0	0,0674	0,2660	0,0017	0,0066		0,00417
1.2.	min	0,0300	258,0	0,5	42,5	0,0039	0,3295	0,0001	0,0099		0,00500
1.3.	max	0,0329	874,2	60	85,7	0,1373	0,1961	0,0045	0,0065	0,00548	
1.4.	min	0,0272	177,0	0,5	28,5	0,0056	0,3220	0,0002	0,0088		0,00446
1.5.	max	0,0315	874,2	60	85,7	0,1373	0,1961	0,0043	0,0062	0,00525	
1.6.	min	0,0264	500,4	8,4	75,0	0,0336	0,2998	0,0009	0,0079		0,00440
1.7.	max	0,0300	1836,0	126	180,0	0,1373	0,1961	0,0041	0,0059	0,00500	
1.8.	min	0,0300	10,8	0,8	1,0	0,1481	0,1852	0,0044	0,0056		0,00500
1.9.	min	0,0257	259,4	4,4	40,0	0,0339	0,3084	0,0009	0,0079		0,00440
1.10.	min	0,0179	27,0	2	2,5	0,1481	0,1852	0,0027	0,0033		0,00298
2.1.	min	0,0264	7083,5	20	1221,2	0,0056	0,3448	0,0001	0,0091		0,00463
2.2.	max	0,0279	369,1	28	40,0	0,1517	0,2167	0,0042	0,0060	0,00514	
3.1.	min	0,0257	232,6	7,4	39,0	0,0636	0,3353	0,0016	0,0086		0,00513
3.2.	min	0,0293	66,4	0,5	16,9	0,0151	0,5090	0,0004	0,0149		0,00768
3.3.	max	0,0315	273,4	30	42,8	0,2195	0,3131	0,0069	0,0099	0,00839	
3.4.	min	0,0286	78,4	2	18,4	0,0510	0,4694	0,0015	0,0134		0,00744
3.5.	max	0,0322	275,3	30	42,8	0,2179	0,3109	0,0070	0,0100	0,00851	
3.6.	min	0,0257	167,3	5	18,1	0,0598	0,2158	0,0015	0,0055		0,00354
3.7.	max	0,0279	1699,6	150	214,3	0,1765	0,2522	0,0049	0,0070	0,00598	
3.8.	min	0,0307	9,2	0,8	1,0	0,1749	0,2186	0,0054	0,0067		0,00604
3.9.	min	0,0272	199,2	3,8	33,0	0,0382	0,3313	0,0010	0,0090		0,00502
3.10.	min	0,0172	51,0	2	2,5	0,0784	0,0980	0,0013	0,0017		0,00152
5.1.	min	0,0243	14,0	0	4,0	0,0000	0,5714	0,0000	0,0139		0,00694
5.2.	min	0,0243	188,4	7,6	30,0	0,0807	0,3185	0,0020	0,0077		0,00485
5.3.	min	0,0307	79,9	2	18,4	0,0501	0,4606	0,0015	0,0141		0,00784
5.4.	max	0,0329	273,4	30	42,8	0,2195	0,3131	0,0072	0,0103	0,00876	
5.5.	min	0,0293	64,9	0,5	16,9	0,0154	0,5208	0,0005	0,0153		0,00786
5.6.	max	0,0322	275,3	30	42,8	0,2179	0,3109	0,0070	0,0100	0,00851	
5.7.	min	0,0272	674,3	5	18,1	0,0148	0,0535	0,0004	0,0015		0,00093
5.8.	max	0,0293	2751,5	150	214,3	0,1090	0,1558	0,0032	0,0046	0,00388	
5.9.	min	0,0300	9,2	0,8	1,0	0,1749	0,2186	0,0052	0,0066		0,00590
5.10.	min	0,0279	236,6	4,4	40,0	0,0372	0,3381	0,0010	0,0094		0,00524
5.11.	min	0,0179	51,0	2	2,5	0,0784	0,0980	0,0014	0,0018		0,00158
6.1.	min	0,0257	6003,5	20	1221,2	0,0067	0,4068	0,0002	0,0105		0,00531
6.2.	max	0,0279	408,0	28	40,0	0,1373	0,1961	0,0038	0,0055	0,00465	
7.1.	min	0,0338	72,0	2	10,0	0,0556	0,2778	0,0019	0,0093		0,00560
sum Pi										0,06956	
sum Ri											0,12345

Apskaičiuota, kad RMG kranų sistemos maksimizuojamųjų rodiklių suma yra lygi $P_i = 0,06956$, minimizuojamųjų – $R_i = 0,12345$.

4.3.3. Konteinerinių krautuvų sistemos daugiakriterinis vertinimas

Naudojant konteinerinių krautuvų sistemą, konteineriai nuo krantinės iki sandėliavimo aikštelės gabenami terminalo vilkikais, o aikštelėje kraunami krautuvais dvejomis arba keturiomis eilėmis išilgai krantinei. Pagrindinis šios sistemos privalumas – krovo įrangos universalumas. Konteineriniai krautuvai gali būti naudojami konteineriams pakelti, sukrauti/nukrauti bei transportuoti nedideliais atstumais. Tačiau naudojant šiuos krautuvus terminalo teritorijos panaudojimas ganėtinai prastas.

Konteinerio aptarnavimas nagrinėjama 3-ąja alternatyva pavaizduotas 4.11 paveiksle.



4.11 pav. Konteinerio judėjimo terminale trajektorija, kai jis aptarnaujamas konteinerinių krautuvų sistema

Fig. 4.11. Container's movement trajectory when handled by reach stackers system

Konteinerio aptarnavimo operacijose dalyvauja trys techninės priemonės: krantinės kranas, terminalo vilkikas ir konteinerinis krautuvas. Šiuo atveju pasirinktos priemonės yra:

- 1) 50 t keliantis Konecranes krantinės kranas „Typical Post Panamax STS Container Crane“, aptarnaujantis 14 eilių ant laivo denio;
- 2) Terberg terminalo vilkikas;
- 3) 45 t keliantis Ferrari konteinerinis krautuvas „F377“, konteinerius aikštelėje kraunantis 3 aukštais ir aptarnaujantis 2 eiles.

Detalesnės priemonių techninės charakteristikos pateiktos C priede.

Skaičiavimams atlikti reikalingos pradinės veiksnių reikšmės nustatytos toliau tvarka:

1 etapas. Konteinerio krova tarp laivo ir krantinės

Kadangi visose alternatyvose konteinerį iš laivo krauna tas pats krantinės kranas, veiksnių reikšmės nustatytos identišškai 1 alternatyvai.

2 etapas. Konteinerio transportavimas tarp krantinės ir sandėliavimo aikštelės

6 etapas. Konteinerio transportavimas iš terminalo

Konteinerio transportavimo atstumo $\otimes x_{2,1}$ ir $\otimes x_{6,1}$ reikšmės nustatytos identišškai 2 alternatyvai, kadangi sandėliavimo aikštelės, kurioje dirba konteineriniai krautuvai, išplanavimas yra toks pats (4.10 pav.), tik konteineriai sustatyti ne šešiomis, o keturiomis eilėmis ($w_{2,1} = w_{6,1} = 20$ m; $b_{2,1} = b_{6,1} = 1221,2$ m).

Transporto priemonės judėjimo greičio $\otimes x_{2,2}$ ir $\otimes x_{6,2}$ reikšmės nustatytos: maksimali reikšmė – imamas maksimalus vilkiko terminale greitis ($b_{2,2} = b_{6,2} = 40$ km/h); minimali reikšmė – laikoma, kad konteineriai yra su kroviniu ir judėjimo greitis sudaro 70 proc. maksimalaus priemonės greičio ($w_{2,2} = w_{6,2} = 28$ km/h).

3 etapas. Konteinerio krova tarp terminalo transporto priemonės ir sandėliavimo vietos

Griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo užkabinimo laiko $\otimes x_{3,1}$ bei nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo laiko $\otimes x_{3,9}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – pagal terminaluose atlikto natūrinio stebėjimo metu gautus duomenis ($w_{3,1} = 8$ s; $w_{3,9} = 19$ s); maksimali reikšmė nustatyta iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų normatyvinių laiko lentelių ($b_{3,1} = 39$ s; $b_{3,9} = 33$ s).

Konteinerio kėlimo $\otimes x_{3,2}$ bei nuleidimo $\otimes x_{3,4}$ aukščių reikšmės nustatytos: minimali kėlimo reikšmė – laikoma, kad konteineris pakeliamas minimaliu atstumu tam, kad galėtų būti pakeltas nuo vilkiko ir perkeltas horizontalia kryptimi ($w_{3,2} = 0,5$ m), nuleidimo minimali reikšmė apskaičiuojama susumuojant minimalų pakėlimo nuo vilkiko aukštį ir vilkiko platformos aukštį ($w_{3,4} = 2,0$ m); maksimali kėlimo reikšmė – nustatyta iš priemonės techninėje charakteristikoje nurodyto maksimalaus kėlimo aukščio, išskaičiavus vilkiko platformos aukštį ($b_{3,2} = 13,6$ m), nuleidimo maksimali reikšmė nustatyta pagal galimą priemonės maksimalų kėlimo aukštį ($b_{3,4} = 15,1$ m).

Konteinerio perkėlimo horizontalia kryptimi atstumo $\otimes x_{3,6}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – apskaičiuotas minimalus atstumas nuo konteinerio padėties ant platformos iki artimiausios konteinerio sandėliavimo vietos pirmoje eilėje, kai vilkikas sustoja nuo pirmosios eilės 0,5 m atstumu ($w_{3,6} = 3$ m); maksimali reikšmė – apskaičiuotas krovo priemonės maksimalus judėjimo atstumas horizontalia kryptimi atsižvelgiant į tai, jog konteineris bus sandėliuojamas antroje eilėje bei įskaičiuojant krautuvo judėjimą pagriebus konteinerį nuo vilkiko platformos ir atsitraukus saugų atstumą atgal ($\sim 4,5$ m), kad vilkikas galėtų išvažiuoti ($b_{3,6} = 14,3$ m).

Konteinerio pakėlimo $\otimes x_{3,3}$, nuleidimo $\otimes x_{3,5}$ ir transportavimo horizontalia kryptimi $\otimes x_{3,7}$ greičių reikšmės nustatytos iš konteinerinio krautuvo techninės charakteristikos: minimali reikšmė – nustatomas konteinerio kėlimo/nuleidimo/judėjimo greitis su kroviniu ($w_{3,3} = 15$ m/min, $w_{3,5} = 17,4$ m/min; $w_{3,7} = 46,7$ m/min); maksimali reikšmė – laikoma, kad perkeliamas konteineris yra tuščias ($b_{3,3} = 15,6$ m/min; $b_{3,5} = 24,9$ m/min; $b_{3,7} = 66,7$ m/min).

Operacijų persidengimo koeficiento $\otimes x_{3,8}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų normatyvų krautuvui ($w_{3,8} = 0,85$); maksimali reikšmė – laikoma, kad kelios operacijos vienu metu nevyksta ($b_{3,8} = 1$).

Krovos priemonės mechanizmų įjungimo ir išjungimo laiko $\otimes x_{3,10}$ reikšmės nustatytos iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų laiko normatyvų krautuvui ($w_{1,10} = 6$ s, $b_{1,10} = 8$ s).

5 etapas. Konteinerio krova tarp sandėliavimo vietos ir kliento transporto priemonės

Konteinerių perstatymo $\otimes x_{5,1}$ reikšmės nustatytos: minimali – laikoma, kad aptarnaujamas konteineris sandėliuojamas viršutinėje eilėje ir perstatymo atlikti nereikia ($w_{5,1} = 0$); maksimali – laikoma, kad konteineris sandėliuojamas apatinėje eilėje ir reikia nukrauti du konteinerius, esančius virš jo ($b_{5,1} = 2$).

Griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo užkabinimo laiko $\otimes x_{5,2}$ bei nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo laiko $\otimes x_{5,10}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – pagal terminaluose atlikto natūrinio stebėjimo metu gautus duomenis ($w_{5,2} = 8$ s; $w_{5,10} = 19$ s); maksimali reikšmė nustatyta iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų normatyvinių laiko lentelių ($b_{5,2} = 30$ s; $b_{5,10} = 40$ s).

Konteinerio kėlimo $\otimes x_{5,3}$ bei nuleidimo $\otimes x_{5,5}$ aukščių reikšmės nustatytos: minimali kėlimo reikšmė – laikoma, kad konteineris pakeliamas minimaliu atstumu tam, kad galėtų būti pakeltas nuo žemės ir perkeltas horizontalia kryptimi ant vilkiko platformos ($w_{5,3} = 2$ m), nuleidimo minimali reikšmė – laikoma, kad konteineris minimaliai iškeltas tokiame aukštyje, kad saugiai būtų perkeltas horizontalia kryptimi ir nuleistas ant vilkiko platformos ($w_{5,5} = 0,5$ m); maksimali kėlimo reikšmė – nustatyta pagal priemonės techninėje charakteristikoje nurodytą maksimalų kėlimo aukštį ($b_{5,3} = 15,1$ m), nuleidimo maksimali reikšmė nustatyta iš priemonės maksimalaus kėlimo aukščio išskaičiuojant vilkiko platformos aukštį ($b_{5,5} = 13,6$ m).

Konteinerio perkėlimo horizontalia kryptimi atstumo $\otimes x_{5,7}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – nustatytas ir apskaičiuotas minimalus perkėlimo atstumas nuo konteinerio sandėliavimo vietos pirmoje eilėje iki padėties ant vilkiko platformos ($w_{5,7} = 3$ m); maksimali reikšmė – nustatytas ir apskaičiuotas krovos priemonės maksimalus judėjimo atstumas horizontalia kryptimi ($b_{5,7} = 14,3$ m).

Konteinerio pakėlimo $\otimes x_{5,4}$, nuleidimo $\otimes x_{5,6}$ ir transportavimo horizontalia kryptimi $\otimes x_{5,8}$ greičių reikšmės, operacijų persidengimo koeficiento $\otimes x_{5,9}$ reikšmės ir krovos priemonės mechanizmų įjungimo ir išjungimo laiko $\otimes x_{3,11}$ reikšmės yra identiškos 3 etapo reikšmėms.

7 etapas. Dokumentų ir konteinerio būklės patikra

Reikšmės nustatytos analogiškai kaip ir 1-oje alternatyvoje.

3 alternatyvos pradinės veiksmų reikšmės ir pagal formules (2.43)–(2.52) atliktų skaičiavimų rezultatai pateikti 4.5 lentelėje.

4.5 lentelė. 3 alternatyvos pradinės veiksmų reikšmės ir skaičiavimų rezultatai
Table 4.5. Initial values of factors and calculating results of the 3rd alternative

Vertinamas veiksnys	Optimizavimo kryptis	Veiksnių reikšmingumas	Suma	3 alternatyvos pradinės reikšmės		Normalizuotos reikšmės		Pasvertos reikšmės		Pi	Ri
				w	b	w	b	w	b		
1.1.	min	0,0250	225,6	7,6	30,0	0,0674	0,2660	0,0017	0,0066		0,00417
1.2.	min	0,0300	258,0	0,5	42,5	0,0039	0,3295	0,0001	0,0099		0,00500
1.3.	max	0,0329	874,2	60	85,7	0,1373	0,1961	0,0045	0,0065	0,00548	
1.4.	min	0,0272	177,0	0,5	28,5	0,0056	0,3220	0,0002	0,0088		0,00446
1.5.	max	0,0315	874,2	60	85,7	0,1373	0,1961	0,0043	0,0062	0,00525	
1.6.	min	0,0264	500,4	8,4	75,0	0,0336	0,2998	0,0009	0,0079		0,00440
1.7.	max	0,0300	1836,0	126	180,0	0,1373	0,1961	0,0041	0,0059	0,00500	
1.8.	min	0,0300	10,8	0,8	1,0	0,1481	0,1852	0,0044	0,0056		0,00500
1.9.	min	0,0257	259,4	4,4	40,0	0,0339	0,3084	0,0009	0,0079		0,00440
1.10.	min	0,0179	27,0	2	2,5	0,1481	0,1852	0,0027	0,0033		0,00298
2.1.	min	0,0264	7083,5	20	1221,2	0,0056	0,3448	0,0001	0,0091		0,00463
2.2.	max	0,0279	369,1	28	40,0	0,1517	0,2167	0,0042	0,0060	0,00514	
3.1.	min	0,0257	232,6	8	39,0	0,0688	0,3353	0,0018	0,0086		0,00519
3.2.	min	0,0293	66,4	0,5	13,6	0,0151	0,4096	0,0004	0,0120		0,00622
3.3.	max	0,0315	273,4	15	15,6	0,1097	0,1141	0,0035	0,0036	0,00353	
3.4.	min	0,0286	78,4	2	15,1	0,0510	0,3852	0,0015	0,0110		0,00624
3.5.	max	0,0322	275,3	17,4	24,9	0,1264	0,1809	0,0041	0,0058	0,00495	
3.6.	min	0,0257	167,3	3	14,3	0,0359	0,1710	0,0009	0,0044		0,00266
3.7.	max	0,0279	1699,6	46,7	66,7	0,0550	0,0785	0,0015	0,0022	0,00186	
3.8.	min	0,0307	9,2	0,85	1,0	0,1858	0,2186	0,0057	0,0067		0,00621
3.9.	min	0,0272	199,2	19	33,0	0,1908	0,3313	0,0052	0,0090		0,00710
3.10.	min	0,0172	51,0	6	8,0	0,2353	0,3137	0,0040	0,0054		0,00472
5.1.	min	0,0243	14,0	0	2,0	0,0000	0,2857	0,0000	0,0069		0,00347
5.2.	min	0,0243	188,4	8	30,0	0,0849	0,3185	0,0021	0,0077		0,00490
5.3.	min	0,0307	79,9	2	15,1	0,0501	0,3780	0,0015	0,0116		0,00657
5.4.	max	0,0329	273,4	15	15,6	0,1097	0,1141	0,0036	0,0038	0,00368	
5.5.	min	0,0293	64,9	0,5	13,6	0,0154	0,4191	0,0005	0,0123		0,00637
5.6.	max	0,0322	275,3	17,4	24,9	0,1264	0,1809	0,0041	0,0058	0,00495	
5.7.	min	0,0272	674,3	3	14,3	0,0089	0,0424	0,0002	0,0012		0,00070
5.8.	max	0,0293	2751,5	46,7	66,7	0,0339	0,0485	0,0010	0,0014	0,00121	
5.9.	min	0,0300	9,2	0,85	1,0	0,1858	0,2186	0,0056	0,0066		0,00607
5.10.	min	0,0279	236,6	19	40,0	0,1606	0,3381	0,0045	0,0094		0,00696
5.11.	min	0,0179	51,0	6	8,0	0,2353	0,3137	0,0042	0,0056		0,00491
6.1.	min	0,0257	6003,5	20	1221,2	0,0067	0,4068	0,0002	0,0105		0,00531
6.2.	max	0,0279	408,0	28	40,0	0,1373	0,1961	0,0038	0,0055	0,00465	
7.1.	min	0,0336	72,0	2	10,0	0,0556	0,2778	0,0019	0,0093		0,00560
										sum Pi	0,04570
										sum Ri	0,12423

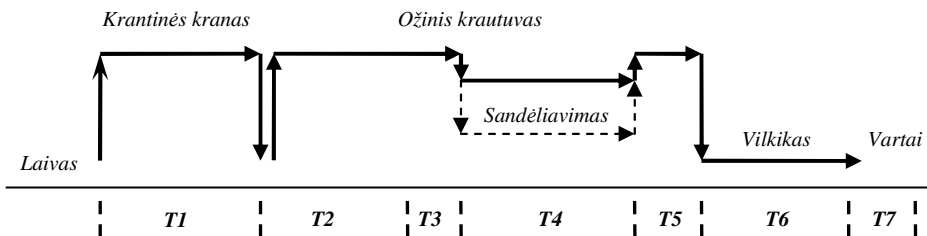
Apskaičiuota, kad konteinerinių krautuvų sistemos maksimizuojamųjų rodiklių suma yra lygi $P_i = 0,04570$, minimizuojamųjų – $R_i = 0,12423$.

4.3.4. Ožinių krautuvų tiesioginės sistemos daugiakriterinis vertinimas

Naudojant ožinių krautuvų tiesioginę sistemą, krautuvus konteinerį gabena nuo krantinės iki sandėliavimo vietos. Šiuo atveju vienas krautuvas atlieka ir transportavimo, ir krovo operacijas. Konteineriai sandėliavimo aikštelėje sustatomi statmenomis krantinei eilėmis, kurios atskirtos maždaug 1,5 m tarpais, leidžiančiais krautuvui judėti. Eiles paprastai sudaro 10–16 TEU. Konteineriai kraunami

trimis arba keturiais aukštais. Pagrindinis sistemos trūkumas – didelė konteinerių apgadavimo tikimybė dėl didelių gabenimo greičių ir siaurų judėjimo kelių.

Kaip konteineris yra aptarnaujamas nagrinėjama 4-ąja alternatyva pavaizduota 4.12 paveiksle.



4.12 pav. Konteinerio judėjimo terminale trajektorija, kai jis aptarnaujamas ožinių krautuvų tiesiogine sistema

Fig. 4.12. Container's movement trajectory when handled by straddle carrier direct system

Konteinerio aptarnavimo operacijose dalyvauja dvi techninės priemonės: krantinės kranas ir ožinis krautuvas. Šiuo atveju pasirinktos priemonės yra:

- 1) 50 t keliantis Konecranes krantinės kranas „Typical Post Panamax STS Container Crane“, aptarnaujantis 14 eilių ant laivo denio;
- 2) 40 t keliantis Kalmar ožinis krautuvas „CSC 340“, konteinerius aikštelėje kraunantis 3 aukštais.

Detalesnės priemonių techninės charakteristikos pateiktos C priede.

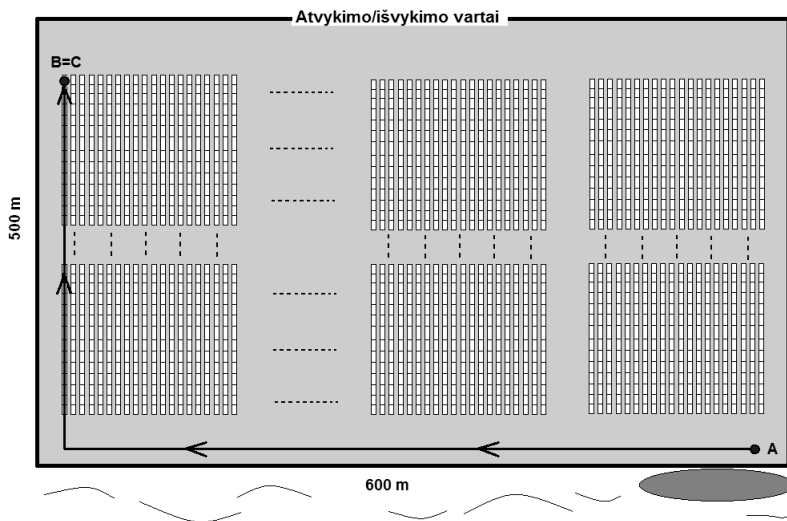
Skaičiavimams atlikti reikalingos pradinės veiksnių reikšmės nustatytos toliau tvarka:

1 etapas. Konteinerio krova tarp laivo ir krantinės

Kadangi visose alternatyvose konteinerį iš laivo krauna tas pats krantinės kranas, visų veiksnių reikšmės nustatytos identišškai 1 alternatyvai, išskyrus konteinerio nuleidimo aukščio $\otimes x_{1,4}$ reikšmę. Minimali reikšmė nustatyta atsižvelgiant į tai, kad priešingai nei kitų sistemų atveju, ožinių krautuvų tiesioginės sistemos atveju iš laivo iškrautas konteineris yra pastatomas ant krantinės žemės, todėl papildomai prie minimalaus nuleidimo aukščio priskaičiuojamas ir vilkiko platformos aukštis, kurį konteineris turi būti nuleistas, kadangi statomas ne ant platformos ($w_{1,4} = 2$ m). Maksimali reikšmė nustatyta pagal krantinės kraną galimą maksimalų kėlimo aukštį, nurodytą techninėje charakteristikoje, nuo geležinkelio bėgių iki galimos griebtuvo viršutinės padėties ($b_{1,4} = 30$ m).

2 etapas. Konteinerio transportavimas tarp krantinės ir sandėliavimo aikštelės

Konteinerio gabenimo atstumo $\otimes x_{2,1}$ reikšmės nustatytos: minimali – iš natūrinio stebėjimo metu gautų duomenų ($w_{2,1} = 20$ m). Siekiant nustatyti konteinerio transportavimo terminale maksimalų atstumą sudarytas terminalo išplanavimo modelis pagal sandėliuojamų konteinerių sektorių išdėstymą (4.13 pav.).



4.13 pav. Terminalo, kuriame konteinerius aptarnauja ožinių krautuvų tiesioginė sistema, išplanavimas

Fig. 4.13. Terminal's layout when straddle carrier direct system operates

Konteineriai aikštelėje yra sustatomi statmenai krantinei. Šiuo atveju maksimalus konteinerio gabenimo nuo krantinės iki konteinerio sandėliavimo vietos atstumas (paveiksle A–B) apskaičiuojamas pagal formulę (4.3) ir yra lygus $b_{2,1} = 1100$ m. Konteinerio perkėlimas iš transportavimo priemonės į sandėliavimo vietą nevykdomas, todėl $B = C$.

Transporto priemonės judėjimo greičio $\otimes x_{2,2}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė nustatyta pagal ožinio krautuvo techninėje charakteristikoje nurodytą krautuvo su kroviniu judėjimo greitį ($w_{2,2} = 26$ km/h); maksimali reikšmė – laikoma, kad gabenamas konteineris yra tuščias ($b_{2,2} = 37,1$ km/h).

3 etapas. Konteinerio krova tarp terminalo transporto priemonės ir sandėliavimo vietos

Griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo užkabinimo laiko $\otimes x_{3,1}$ bei nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo laiko $\otimes x_{3,9}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė nustatyta pagal terminaluose atlikto natūrinio stebėjimo metu gautus aikštelės ožinio krano duomenis (kadangi krautuvo, kaip ir ožinio krano, operatoriaus vieta yra įrengta viršuje, dėl to matomumas yra vienodas ir laikoma, kad griebtuvo nustatymo virš konteinerio trukmė yra panaši) ($w_{3,1} = 7,4$ s; $w_{3,9} = 3,8$ s); maksimali reikšmė nustatyta iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų normatyvinių laiko lentelių ($b_{3,1} = 39$ s; $b_{3,9} = 33$ s).

Konteinerio kėlimo veiksmas yra atliekamas krantinėje, kai krautuvą pagriebia konteinerį transportavimui nuo krantinės iki sandėliavimo vietos. Nuleidimo veiksmas yra atliekamas atvykus į sandėliavimo vietą. Konteinerio kėlimo $\otimes x_{3,2}$ bei nuleidimo $\otimes x_{3,4}$ aukščių reikšmės nustatytos: minimalios kėlimo ir nuleidimo reikšmės – laikoma, kad konteineris pakeliamas minimaliu atstumu tam, kad galėtų būti transportuojamas ($w_{3,2} = 0,5$ m; $w_{3,4} = 0,5$ m); maksimalios kėlimo ir nuleidimo reikšmės – nustatytos iš krautuvo galimo maksimalaus kėlimo aukščio, nurodyto priemonės techninėje charakteristikoje ($b_{3,2} = 9,2$ m; $b_{3,4} = 9,2$ m).

Konteinerio perkėlimo horizontalia kryptimi atstumas įskaičiuotas į konteinerio transportavimo atstumą, todėl $\otimes x_{3,6} = 0$.

Konteinerio pakėlimo $\otimes x_{3,3}$ ir nuleidimo $\otimes x_{3,5}$ greičių reikšmės nustatytos iš ožinio krautuvo techninės charakteristikos: minimali reikšmė – nustatomas konteinerio kėlimo ir nuleidimo greitis su kroviniu ($w_{3,3} = 20$ m/min; $w_{3,5} = 18$ m/min); maksimali reikšmė – laikoma, kad konteineris yra tuščias ($b_{3,3} = 28,6$ m/min; $b_{3,5} = 25,7$ m/min).

Operacijų persidengimo koeficiento $\otimes x_{3,8}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) nurodytų normatyvų krautuvui ($w_{3,8} = 0,85$); maksimali reikšmė – laikoma, kad kelios operacijos vienu metu nevyksta ($b_{3,8} = 1$).

Krovos priemonės mechanizmų įjungimo ir išjungimo laiko $\otimes x_{3,10}$ reikšmės nustatytos iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų laiko normatyvų krautuvui ($w_{1,10} = 6$ s, $b_{1,10} = 8$ s).

5 etapas. Konteinerio krova tarp sandėliavimo vietos ir kliento transporto priemonės

Konteinerių perstatymo $\otimes x_{5,1}$ reikšmės nustatytos: minimali – laikoma, kad aptarnaujamas konteineris sandėliuojamas viršutinėje eilėje ir perstatymo atlikti nereikia ($w_{5,1} = 0$); maksimali – laikoma, kad konteineris sandėliuojamas apatinėje eilėje ir reikia nukrauti du konteinerius, esančius virš jo ($b_{5,1} = 2$).

Griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo užkabinimo laiko $\otimes x_{5,2}$ bei nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo laiko $\otimes x_{5,10}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – pagal terminaluose atlikto natūrinio stebėjimo metu gautus aikštelės ožinio krano duomenis ($w_{5,2} = 7,6$ s; $w_{5,10} = 4,4$ s); maksimali reikšmė nustatyta iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų normatyvinių laiko lentelių ($b_{5,2} = 30$ s; $b_{5,10} = 40$ s).

Konteinerio kėlimo $\otimes x_{5,3}$ bei nuleidimo $\otimes x_{5,5}$ aukščių reikšmės nustatytos: minimali kėlimo reikšmė – apskaičiuojama įvertinus vilkiko platformos aukštį ir minimalų pakėlimo transportavimui horizontalia kryptimi atstumą ($w_{5,3} = 2$ m), nuleidimo minimali reikšmė – laikoma, kad konteineris minimaliai iškeltas tokia aukštyje, kad saugiai būtų perkeltas horizontalia kryptimi ir nuleistas ant vilkiko platformos ($w_{5,5} = 0,5$ m); maksimali kėlimo reikšmė – nustatyta pagal techninėje charakteristikoje nurodytą priemonės maksimalų kėlimo aukštį ($b_{5,3} = 9,2$ m), nuleidimo maksimali reikšmė nustatyta iš priemonės maksimalaus kėlimo aukščio išskaičiuojant vilkiko platformos aukštį, kadangi konteineris šios operacijos metu kraunamas ant kliento vilkiko platformos ($b_{5,5} = 7,7$ m).

Konteinerio perkėlimo horizontalia kryptimi atstumo $\otimes x_{5,7}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – nustatytas ir apskaičiuotas minimalus perkėlimo atstumas nuo konteinerio sandėliavimo vietos eilės gale iki vilkiko platformos, atsižvelgiant į minimalų 0,5 m atstumą tarp vilkiko platformos ir eilės galo ($w_{5,7} = 6,5$ m); maksimali reikšmė – laikoma, kad konteineris gali būti perkeliamas per visą sandėliavimo aikštelę ($b_{5,7} = 500,5$ m).

Konteinerio transportavimo horizontalia kryptimi greičio reikšmės nustatytos iš krautuvo techninės charakteristikos: minimali reikšmė – nustatyta pagal konteinerio transportavimo greitį su kroviniu ($w_{5,8} = 433,3$ m/min); maksimali reikšmė – laikoma, kad konteineris perkeliamas tuščias ($b_{5,8} = 619,6$ m/min).

Konteinerio pakėlimo $\otimes x_{5,4}$ ir nuleidimo $\otimes x_{5,6}$ greičių reikšmės, operacijų persidengimo koeficiento $\otimes x_{5,9}$ reikšmės ir krovos priemonės mechanizmų įjungimo ir išjungimo laiko $\otimes x_{3,11}$ reikšmės yra identiškos 3 etapo reikšmėms.

6 etapas. Konteinerio transportavimas iš terminalo

Šiuo atveju klientų vilkikai terminale juda tik iš vienos sandėliavimo aikštelės pusės, t.y. teritorijoje nuo vartų iki sandėliavimo aikštelės pradžios. Konteinerio gabenimo atstumo $\otimes x_{2,1}$ reikšmės nustatytos laikantis principo, kad atstumas nuo vartų iki sandėliavimo aikštelės yra 20 m ir vilkikai visuomet išvažiuoja pro artimiausius išvykimo vartus, tuomet $w_{2,1} = 20$ m, $b_{2,1} = 20$ m.

Transporto priemonės judėjimo greičio $\otimes x_{6,2}$ reikšmės nustatytos: maksimali reikšmė – imamas saugus maksimalus vilkiko terminale greitis ($b_{6,2} = 40$ km/h),

minimali reikšmė – laikoma, kad konteineriai yra su kroviniu ir judėjimo greitis sudaro 70 proc. maksimalaus priemonės greičio ($w_{6,2} = 28$ km/h).

7 etapas. Dokumentų ir konteinerio būklės patikra

Reikšmės nustatytos analogiškai kaip ir 1-oje alternatyvoje.

4 alternatyvos pradinės veiksmų reikšmės ir pagal formules (2.43)–(2.52) atliktų skaičiavimų rezultatai pateikti 4.6 lentelėje.

4.6 lentelė. 4 alternatyvos pradinės veiksmų reikšmės ir skaičiavimų rezultatai

Table 4.6. Initial values of factors and calculating results of the 4th alternative

Vertinamas veiksnys	Optimizavimo kryptis	Veiksnių reikšmingumas	Suma	4 alternatyvos pradinės reikšmės		Normalizuotos reikšmės		Pasvertos reikšmės		Pi	Ri
				w	b	w	b	w	b		
1.1.	min	0,0250	225,6	7,6	30	0,0674	0,2660	0,0017	0,0066		0,00417
1.2.	min	0,0300	258,0	0,5	42,5	0,0039	0,3295	0,0001	0,0099		0,00500
1.3.	max	0,0329	874,2	60	85,7	0,1373	0,1961	0,0045	0,0065	0,00548	
1.4.	min	0,0272	177,0	2	30	0,0226	0,3390	0,0006	0,0092		0,00492
1.5.	max	0,0315	874,2	60	85,7	0,1373	0,1961	0,0043	0,0062	0,00525	
1.6.	min	0,0264	500,4	8,4	75	0,0336	0,2998	0,0009	0,0079		0,00440
1.7.	max	0,0300	1836,0	126	180	0,1373	0,1961	0,0041	0,0059	0,00500	
1.8.	min	0,0300	10,8	0,8	1	0,1481	0,1852	0,0044	0,0056		0,00500
1.9.	min	0,0257	259,4	4,4	33	0,0339	0,2544	0,0009	0,0065		0,00371
1.10.	min	0,0179	27,0	2	2,5	0,1481	0,1852	0,0027	0,0033		0,00298
2.1.	min	0,0264	7083,5	20	1100	0,0056	0,3106	0,0001	0,0082		0,00417
2.2.	max	0,0279	369,1	26	37,1	0,1409	0,2010	0,0039	0,0056	0,00477	
3.1.	min	0,0257	232,6	7,4	39	0,0636	0,3353	0,0016	0,0086		0,00513
3.2.	min	0,0293	66,4	0,5	9,2	0,0151	0,2771	0,0004	0,0081		0,00428
3.3.	max	0,0315	273,4	20	28,6	0,1463	0,2092	0,0046	0,0066	0,00560	
3.4.	min	0,0286	78,4	0,5	9,2	0,0128	0,2347	0,0004	0,0067		0,00354
3.5.	max	0,0322	275,3	18	25,7	0,1308	0,1867	0,0042	0,0060	0,00511	
3.6.	min	0,0257	167,3	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,00000
3.7.	max	0,0279	1699,6								
3.8.	min	0,0307	9,2	0,85	1	0,1858	0,2186	0,0057	0,0067		0,00621
3.9.	min	0,0272	199,2	3,8	33	0,0382	0,3313	0,0010	0,0090		0,00502
3.10.	min	0,0172	51,0	6	8	0,2353	0,3137	0,0040	0,0054		0,00472
5.1.	min	0,0243	14,0	0	2	0,0000	0,2857	0,0000	0,0069		0,00347
5.2.	min	0,0243	188,4	7,6	30	0,0807	0,3185	0,0020	0,0077		0,00485
5.3.	min	0,0307	79,9	2	9,2	0,0501	0,2303	0,0015	0,0071		0,00430
5.4.	max	0,0329	273,4	20	28,6	0,1463	0,2092	0,0048	0,0069	0,00585	
5.5.	min	0,0293	64,9	0,5	7,7	0,0154	0,2373	0,0005	0,0070		0,00370
5.6.	max	0,0322	275,3	18	25,7	0,1308	0,1867	0,0042	0,0060	0,00511	
5.7.	min	0,0272	674,3	6,5	500,5	0,0193	1,4845	0,0005	0,0404		0,02045
5.8.	max	0,0293	2751,5	433,3	618,6	0,3150	0,4496	0,0092	0,0132	0,01120	
5.9.	min	0,0300	9,2	0,85	1	0,1858	0,2186	0,0056	0,0066		0,00607
5.10.	min	0,0279	236,6	4,4	40	0,0372	0,3381	0,0010	0,0094		0,00524
5.11.	min	0,0179	51,0	6	8	0,2353	0,3137	0,0042	0,0056		0,00491
6.1.	min	0,0257	6003,5	20	20	0,0067	0,0067	0,0002	0,0002		0,00017
6.2.	max	0,0279	408,0	28	40	0,1373	0,1961	0,0038	0,0055	0,00465	
7.1.	min	0,0336	72,0	2	10	0,0556	0,2778	0,0019	0,0093		0,00560
sum Pi										0,05802	
sum Ri											0,12201

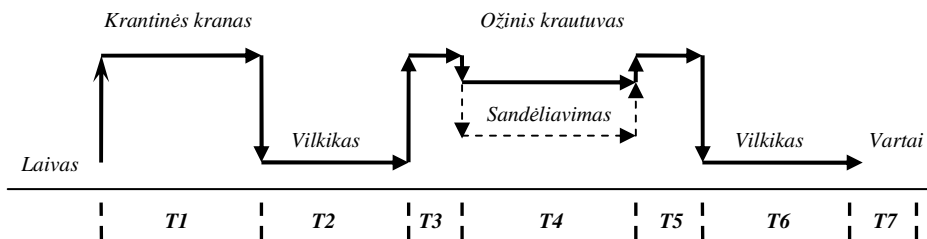
Apskaičiuota, kad ožinių krautuvų tiesioginės sistemos maksimizuojamųjų rodiklių suma yra lygi $P_i = 0,05802$, minimizuojamųjų – $R_i = 0,12201$.

4.3.5. Ožinių krautuvų perstatomosios sistemos daugiakriterinis vertinimas

Taikant ožinių krautuvų perstatomąją sistemą, konteineriai nuo krantinės krano iki sandėliavimo aikštelės gabunami vilkiku, kur juos perima ožiniai krautuvai.

Šiai sistemai aptarnaujant sandėliavimo aikštelę, konteinerių eilės išdėstytos lygiagrečios krantinei. Pagrindinis privalumas, lyginant su ožinio krautuvo tiesiogine sistema, yra mažesnis kapitalinių investicijų poreikis.

Kaip konteineris yra aptarnaujamas nagrinėjama 5-ąja alternatyva pavaizduota 4.14 paveiksle.



4.14 pav. Konteinerio judėjimo terminale trajektorija, kai jis aptarnaujamas ožinių krautuvų perstatomąja sistema

Fig. 4.14. Container's movement trajectory when handled by straddle carrier relay system

Konteinerio aptarnavimo operacijose dalyvauja trys techninės priemonės: krantinės kranas, vilkikas ir ožinis krautuvas. Šiuo atveju pasirinktos priemonės yra:

- 1) 50 t keliantis Konecranes krantinės kranas „Typical Post Panamax STS Container Crane“, aptarnaujantis 14 eilių ant laivo denio;
- 2) Terberg terminalo vilkikas;
- 3) 40 t keliantis Kalmar ožinis krautuvas „CSC 340“, konteinerius aikštelėje kraunantis 3 aukštais.

Detalesnės priemonių techninės charakteristikos pateiktos C priede.

Skaičiavimams atlikti reikalingos pradinės veiksmų reikšmės nustatytos toliau tvarka:

1 etapas. Konteinerio krova tarp laivo ir krantinės

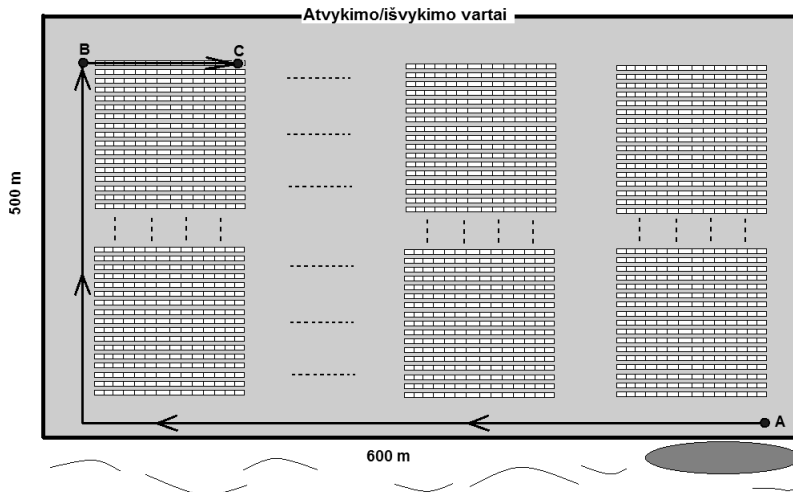
Kadangi visose alternatyvose konteinerį iš laivo krauna tas pats krantinės kranas, veiksmų reikšmės nustatytos identišškai 1 alternatyvai.

2 etapas. Konteinerio transportavimas tarp krantinės ir sandėliavimo aikštelės

6 etapas. Konteinerio transportavimas iš terminalo

Konteinerio gabenimo atstumo $\otimes x_{2,1}$ reikšmės nustatytos: minimali – iš natūrinio stebėjimo metu gautų duomenų ($w_{2,1} = 20$ m). Siekiant nustatyti kontei-

nerio transportavimo terminale maksimalų atstumą sudarytas terminalo išplanavimo modelis pagal sandėliuojamų konteinerių sektorių išdėstymą (4.15 pav.).



4.15 pav. Terminalo, kuriame konteinerius aptarnauja ožinių krautuvų perstatomoji sistema, išplanavimas

Fig. 4.15. Terminal's layout when straddle carrier relay system operates

Sektoriai šiuo atveju yra sustatomi lygiagrečiai krantinei. Maksimalus konteinerio gabenimo vilkiku nuo krantinės iki sandėliavimo sektoriaus vietos atstumas (paveiksle A–B) apskaičiuojamas pagal formulę (4.3) ir yra lygus $b_{2,1} = 1100$ m. Atstumą nuo vilkiko iki sandėliavimo vietos (paveiksle B–C) konteinerį gabena ožinis krautuvus.

Transporto priemonės judėjimo greičio $\otimes x_{2,2}$ reikšmės nustatytos: maksimali reikšmė – nustatytas maksimalus vilkiko judėjimo terminale greitis ($b_{2,2} = 40$ km/h), minimali reikšmė – laikoma, kad konteineris yra su kroviniu ir judėjimo greitis sudaro 70 proc. maksimalaus priemonės greičio ($w_{2,2} = 28$ km/h).

3 etapas. Konteinerio krova tarp terminalo transporto priemonės ir sandėliavimo vietos

Griebtuvo padėties nustatymo virš konteinerio ir jo užkabinimo laiko $\otimes x_{3,1}$ bei nustatymo ties iškrovimo vieta ir jo atkabinimo laiko $\otimes x_{3,9}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – pagal terminaluose atlikto natūrinio stebėjimo metu gautus aikštelės ožinio krano duomenis ($w_{3,1} = 7,4$ s; $w_{3,9} = 3,8$ s); maksimali

reikšmė nustatyta iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų normatyvinių laiko lentelių ($b_{3,1} = 39$ s; $b_{3,9} = 33$ s).

Konteinerio kėlimo $\otimes x_{3,2}$ bei nuleidimo $\otimes x_{3,4}$ aukščių reikšmės nustatytos: minimali kėlimo reikšmė – laikoma, kad konteineris pakeliamas minimaliu atstumu tam, kad galėtų būti pakeltas nuo vilkiko ir perkeltas horizontalia kryptimi ($w_{3,2} = 0,5$ m), nuleidimo minimali reikšmė apskaičiuojama susumuojant minimalų pakėlimo nuo vilkiko aukštį ir vilkiko platformos aukštį ($w_{3,4} = 2,0$ m); maksimali kėlimo reikšmė – nustatyta pagal priemonės techninėje charakteristikoje nurodytą maksimalų kėlimo aukštį išskaičiuojus vilkiko platformos aukštį ($b_{3,2} = 7,7$ m), nuleidimo maksimali reikšmė nustatyta pagal galimą priemonės maksimalų kėlimo aukštį ($b_{3,4} = 92$ m).

Konteinerio perkėlimo horizontalia kryptimi atstumo $\otimes x_{3,6}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – nustatytas ir apskaičiuotas minimalus atstumas nuo konteinerio padėties ant vilkiko platformos iki artimiausios konteinerio sandėliavimo vietos eilės gale, atsižvelgiant į minimalų atstumą tarp vilkiko platformos ir konteinerių eilės galo ($w_{3,6} = 6,5$ m); maksimali reikšmė – apskaičiuotas krovo priemonės maksimalus judėjimo atstumas horizontalia kryptimi per sektoriaus ilgį atsižvelgiant į tai, kad eilėje sandėliuojama 16 TEU ($b_{3,6} = 97,4$ m).

Konteinerio pakėlimo $\otimes x_{3,3}$, nuleidimo $\otimes x_{3,5}$ ir transportavimo horizontalia kryptimi greičių reikšmės nustatytos iš ožinio krautuvo techninės charakteristikos: minimali reikšmė – nustatytas konteinerio kėlimo/nuleidimo/transportavimo greitis su kroviniu ($w_{3,3} = 20$ m/min; $w_{3,5} = 18$ m/min; $w_{3,7} = 433,3$ m/min); maksimali reikšmė – laikoma, kad perkeliamas konteineris yra tuščias ($b_{3,3} = 28,6$ m/min; $b_{3,5} = 25,7$ m/min; $b_{3,7} = 618,6$ m/min).

Operacijų persidengimo koeficiento $\otimes x_{3,8}$ reikšmės nustatytos: minimali reikšmė – iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) nurodytų normatyvų krautuvui ($w_{3,8} = 0,85$); maksimali reikšmė – laikoma, kad kelios operacijos vienu metu nevyksta ($b_{3,8} = 1$).

Krovos priemonės mechanizmų įjungimo ir išjungimo laiko $\otimes x_{3,10}$ reikšmės nustatytos iš literatūros šaltinyje (Бойко, Чередниченко 2007) pateiktų laiko normatyvų krautuvui ($w_{1,10} = 6$ s, $b_{1,10} = 8$ s).

5 etapas. Konteinerio krova tarp sandėliavimo vietos ir kliento transporto priemonės

Šio etapo reikšmės nustatytos identišškai kaip ir 4-oje alternatyvoje.

7 etapas. Dokumentų ir konteinerio būklės patikra

Reikšmės nustatytos analogiškai kaip ir 1-oje alternatyvoje.

5 alternatyvos pradinės veiksmų reikšmės ir pagal formules (2.43)–(2.52) atliktų skaičiavimų rezultatai pateikti 4.7 lentelėje.

4.7 lentelė. 5 alternatyvos pradinės veiksnių reikšmės ir skaičiavimų rezultatai
Table 4.7. Initial values of factors and calculating results of the 5th alternative

Vertinamas veiksnys	Optimizavimo kryptis	Veiksnių reikšmingumas	Suma	5 alternatyvos pradinės reikšmės		Normalizuotos reikšmės		Pasvertos reikšmės		Pi	Ri
				w	b	w	b	w	b		
1.1.	min	0,0250	225,6	7,6	30	0,0674	0,2660	0,0017	0,0066		0,00417
1.2.	min	0,0300	258,0	0,5	42,5	0,0039	0,3295	0,0001	0,0099		0,00500
1.3.	max	0,0329	874,2	60	85,7	0,1373	0,1961	0,0045	0,0065	0,00548	
1.4.	min	0,0272	177,0	0,5	28,5	0,0056	0,3220	0,0002	0,0088		0,00446
1.5.	max	0,0315	874,2	60	85,7	0,1373	0,1961	0,0043	0,0062	0,00525	
1.6.	min	0,0264	500,4	8,4	75	0,0336	0,2998	0,0009	0,0079		0,00440
1.7.	max	0,0300	1836,0	126	180	0,1373	0,1961	0,0041	0,0059	0,00500	
1.8.	min	0,0300	10,8	0,8	1	0,1481	0,1852	0,0044	0,0056		0,00500
1.9.	min	0,0257	259,4	4,4	40	0,0339	0,3084	0,0009	0,0079		0,00440
1.10.	min	0,0179	27,0	2	2,5	0,1481	0,1852	0,0027	0,0033		0,00298
2.1.	min	0,0264	7083,5	20	1100	0,0056	0,3106	0,0001	0,0082		0,00417
2.2.	max	0,0279	369,1	28	40	0,1517	0,2167	0,0042	0,0060	0,00514	
3.1.	min	0,0257	232,6	7,4	39	0,0636	0,3353	0,0016	0,0086		0,00513
3.2.	min	0,0293	66,4	0,5	7,7	0,0151	0,2319	0,0004	0,0068		0,00362
3.3.	max	0,0315	273,4	20	28,6	0,1463	0,2092	0,0046	0,0066	0,00560	
3.4.	min	0,0286	78,4	2	9,2	0,0510	0,2347	0,0015	0,0067		0,00409
3.5.	max	0,0322	275,3	18	25,7	0,1308	0,1867	0,0042	0,0060	0,00511	
3.6.	min	0,0257	167,3	6,5	97,4	0,0777	1,1644	0,0020	0,0299		0,01596
3.7.	max	0,0279	1699,6	433,3	618,6	0,5099	0,7279	0,0142	0,0203	0,01727	
3.8.	min	0,0307	9,2	0,85	1	0,1858	0,2186	0,0057	0,0067		0,00621
3.9.	min	0,0272	199,2	3,8	33	0,0382	0,3313	0,0010	0,0090		0,00502
3.10.	min	0,0172	51,0	6	8	0,2353	0,3137	0,0040	0,0054		0,00472
5.1.	min	0,0243	14,0	0	2	0,0000	0,2857	0,0000	0,0069		0,00347
5.2.	min	0,0243	188,4	7,6	30	0,0807	0,3185	0,0020	0,0077		0,00485
5.3.	min	0,0307	79,9	2	9,2	0,0501	0,2303	0,0015	0,0071		0,00430
5.4.	max	0,0329	273,4	20	28,6	0,1463	0,2092	0,0048	0,0069	0,00585	
5.5.	min	0,0293	64,9	0,5	7,7	0,0154	0,2373	0,0005	0,0070		0,00370
5.6.	max	0,0322	275,3	18	25,7	0,1308	0,1867	0,0042	0,0060	0,00511	
5.7.	min	0,0272	674,3	6,5	97,4	0,0193	0,2889	0,0005	0,0079		0,00419
5.8.	max	0,0293	2751,5	433,3	618,6	0,3150	0,4496	0,0092	0,0132	0,01120	
5.9.	min	0,0300	9,2	0,85	1	0,1858	0,2186	0,0056	0,0066		0,00607
5.10.	min	0,0279	236,6	4,4	40	0,0372	0,3381	0,0010	0,0094		0,00524
5.11.	min	0,0179	51,0	6	8	0,2353	0,3137	0,0042	0,0056		0,00491
6.1.	min	0,0257	6003,5	20	1100	0,0067	0,3665	0,0002	0,0094		0,00479
6.2.	max	0,0279	408,0	28	40	0,1373	0,1961	0,0038	0,0055	0,00465	
7.1.	min	0,0336	72,0	2	10	0,0556	0,2778	0,0019	0,0093		0,00560
sum Pi										0,07566	
sum Ri											0,12645

Apyskaičiuota, kad ožinių krautuvų perstatomosios sistemos maksimizuojamųjų rodiklių suma yra lygi $P_i = 0,07566$, minimizuojamųjų – $R_i = 0,12645$.

Visų nagrinėjamų sistemų alternatyvų pradinės veiksnių reikšmės pateiktos D priede.

4.4. Technologijų palyginimas

Atlikus alternatyvas aprašančių rodiklių skaitinių reikšmių apdorojimą, pagal formulę (2.55) nustatomas kiekvienos technologijos santykinis reikšmingumas:

1. Vilkiko su platformų sąstatu sistemos santykinis reikšmingumas

$$Q_1 = 0,2587,$$

2. Aikštelės ožinių kranų sistemos santykinis reikšmingumas:

a) kai ožiniai kranai yra su guminėmis padangomis

$$Q_{2a} = 0,1506,$$

b) kai ožiniai kranai įrengti ant geležinkelio bėgių

$$Q_{2b} = 0,1554,$$

3. Konteinerinių krautuvų sistemos santykinis reikšmingumas

$$Q_3 = 0,1310,$$

4. Ožinių krautuvų tiesioginės sistemos santykinis reikšmingumas

$$Q_4 = 0,1449,$$

5. Ožinių krautuvų perstatomosios sistemos santykinis reikšmingumas

$$Q_5 = 0,1595.$$

Pagal apskaičiuotus alternatyvų santykinio reikšmingumo rodiklius galima nuspręsti jų prioritetiškumą ir sudaryti nagrinėjamų sistemų prioritetinę eilutę. Kuo sistemos reikšmingumo reikšmė yra didesnė, tuo alternatyvos prioritetas aukštesnis.

Apskaičiuojamas kiekvienos alternatyvos naudingumo laipsnis, kuris iš esmės parodo jos efektyvumo lygį lyginant su kitomis alternatyvomis:

1. Vilkiko su platformų sąstatu sistemos naudingumas

$$N_1 = 100 \%,$$

2. Aikštelės ožinių kranų sistemos naudingumas:

a) kai ožiniai kranai yra su guminėmis padangomis

$$N_{2a} = 58,23 \%,$$

b) kai ožiniai kranai įrengti ant geležinkelio bėgių

$$N_{2b} = 60,09 \%,$$

3. Konteinerinių krautuvų sistemos naudingumas

$$N_3 = 50,66 \%,$$

4. Ožinių krautuvų tiesioginės sistemos

$$N_4 = 56,02 \%,$$

5. Ožinių krautuvų perstatomosios sistemos

$$N_5 = 61,66 \%.$$

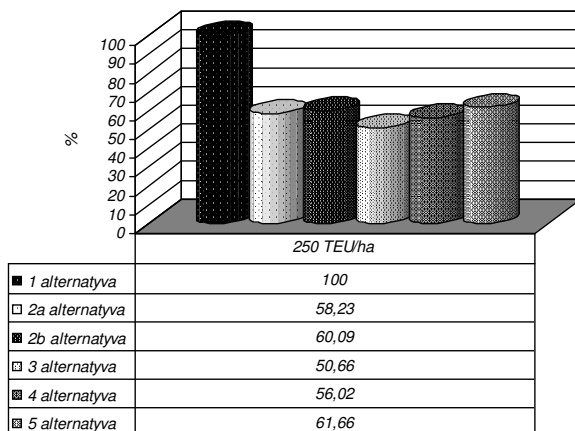
Terminale naudojamų technologijų alternatyvų daugiakriterinio vertinimo skaičiavimų rezultatai pateikti 4.8 lentelėje.

4.8 lentelė. Daugiakriterinio vertinimo rezultatai**Table 4.8.** Results of the multi-attribute assessment

Alternatyva	1	2a	2b	3	4	5
Maksimizuojamų veiksmų reikšmių bendra suma, P_i	0,02295	0,06430	0,06956	0,04570	0,05802	0,07566
Minimizuojamų veiksmų reikšmių bendra suma, R_i	0,04497	0,12279	0,12345	0,12423	0,12201	0,12646
Alternatyvos reikšmė, Q_i	0,2587	0,1506	0,1554	0,1310	0,1449	0,1595
Alternatyvos prioritetiškumas	1	4	3	6	5	2
Alternatyvos naudingumo laipsnis, N_i	100,00	58,23	60,09	50,66	56,02	61,66

Iš pateiktų rezultatų matyti, kad alternatyvos pagal reikšmingumo reikšmes pasiskirstę tokia prioritetine seka: 1 alternatyva > 5 alternatyva > 2b alternatyva > 2a alternatyva > 4 alternatyva > 3 alternatyva. Todėl galima spręsti, kad efektyviausia sistema pagal užduotas sąlygas yra vilkiko su platformų sąstatu sistema.

Lyginant su šia sistema kitas alternatyvas, jų naudingumo laipsnis sudaro tik šiek tiek daugiau nei pusę vilkiko su platformų sąstatu sistemos efektyvumo (4.16 pav.).

**4.16 pav.** Lyginamų technologijų naudingumas, proc.**Fig. 4.16.** The utility degree of the compared technologies, per cent

Tačiau vilkiko su platformų sąstatu sistemos taikymą terminaluose riboja žemi sistemos sandėliavimo pajėgumai (1.2 pav.). Terminalas, kuriame konteineriai aptarnaujami šia sistema, vieno hektaro plote gali sandėliuoti tik iki 250 TEU. Dėl šios priežasties sistema tinka pradedant naujo terminalo veiklą, kai terminalo apkrovimas yra nedidelis, bet dėl pernelyg didelio užimamo ploto visiškai netinka konteinerių srautams išaugus.

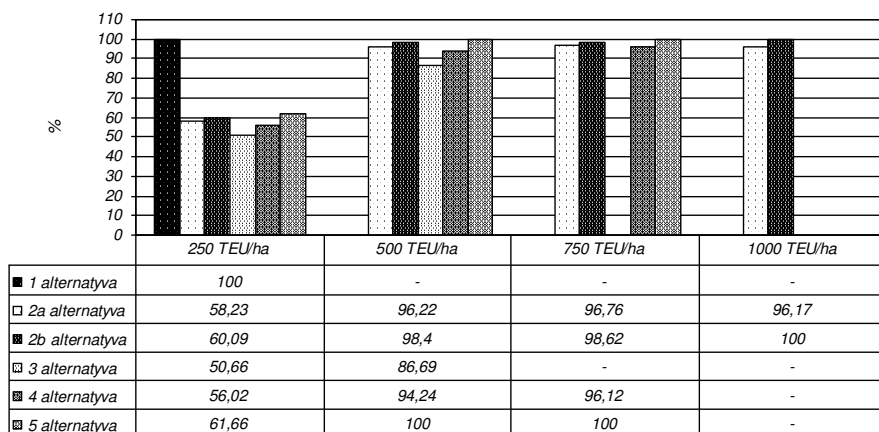
Esant intensyvesniems konteinerių srautams ir didesniai terminalo apkrovimui, parenkant tinkamiausią technologiją, būtina atsižvelgti į nagrinėjamų sistemų sandėliavimo pajėgumus. Technologijų pritaikymą ribojančios sąlygos yra:

- vilkiko su platformų sąstatu sistema viename hektare gali aptarnauti iki 250 TEU;
- konteinerinis krautuvas – iki 500 TEU;
- ožinis krautuvas – iki 750 TEU;
- ožinis kranas su guminėmis padangomis – 1000 TEU ir daugiau;
- ožinis kranas ant geležinkelio bėgių – 1100 TEU ir daugiau.

Jei terminale apdorojamiems konteineriams sandėliuoti reikalingi sandėliavimo pajėgumai siekia iki 500 TEU/ha, konteinerius gali aptarnauti visos nagrinėjamos sistemos, išskyrus vilkiko su platformų sąstatu sistema. Atlikti papildomi daugiakriterinio vertinimo skaičiavimai rodo, jog didžiausią naudingumo laipsnį turi ir efektyviausia iš šių technologijų yra ožinių krautuvų perstatomoji sistema (4.17 pav.). Daugiakriterinio vertinimo skaičiavimų rezultatai, kai sandėliavimo pajėgumai siekia 500 TEU/ha, pateikti E priede.

Jeigu konteinerių terminalas priima vidutinio intensyvumo srautus ir sandėliavimo poreikis yra iki 750 TEU/ha, konteinerius aptarnauti gali aikštelės ožinių kranų (RMG ir RTG) bei ožinių krautuvų (tiesioginė ir perstatomoji) sistemos. Remiantis atliktais skaičiavimais nustatyta, jog efektyviausia iš išvardintų technologijų šiomis sąlygomis yra ožinių krautuvų perstatomoji sistema (4.17 pav.). Daugiakriterinio vertinimo skaičiavimų rezultatai, kai sandėliavimo pajėgumai siekia 750 TEU/ha, pateikti F priede.

Jei konteinerių srautų apimtys yra labai didelės ir sandėliavimo pajėgumų poreikis siekia 1000 TEU/ha ir daugiau, tokiu atveju terminalo aikštelėje gali dirbti tik RTG arba RMG kranų sistemos. Atliktus šių dviejų sistemų lyginamuosius skaičiavimus nustatyta, jog aukštesnį naudingumo laipsnį turi ir efektyvesnė yra kranų ant geležinkelio bėgių sistema (RMG sistema) (4.17 pav.). Daugiakriterinio vertinimo skaičiavimų rezultatai, kai sandėliavimo pajėgumai siekia 1000 TEU/ha ir daugiau, pateikti G priede.



4.17 pav. Technologijų naudingumo laipsnis ir taikymo galimybės pagal sandėliavimo pajėgumus, proc.

Fig. 4.17. The utility degree of the compared technologies and the possibilities of application according to the storage capacity, per cent

Kokios technologijos yra efektyviausios ir rekomenduojamos taikyti terminuose esant tam tikriems sandėliavimo pajėgumams, parodytos 4.9 lentelėje. Užbrauktas langelis rodo, kad technologija negali būti taikoma terminale esant tomis sąlygomis; užspalvintas langelis rodo, kad technologija yra rekomenduoti-na taikyti terminale esant tomis sąlygomis.

4.9 lentelė. Efektyviausios konteinerių aptarnavimo technologijos parinkimo, atsižvelgiant sandėliavimo pajėgumus, matrica

Table 4.9. The matrix of determination of the most efficient container handling technology according to the storage capacity

Nr.	Technologijų alternatyva	Sandėliavimo pajėgumai, TEU/ha			
		250	500	750	1000 ir daugiau
1	Vilkiko su platformų sąstatu sistema				
2a	RTG sistema				
2b	RMG sistema				
3	Konteinerinių krautuvų sistema				
4	Ožinių krautuvų tiesioginė sistema				
5	Ožinių krautuvų perstatomoji sistema				

Visos konteinerių aptarnavimo sistemos įvertintos tik pagal jų techninius parametrus ir galimybes, siekiant trumpiausio konteinerių aptarnavimo laiko, bet neatsižvelgiant į jų įdiegimo terminale investicijų dydį bei aptarnavimo išlaidas.

4.5. Praktinis pritaikymas

Sukurtas ir pasiūlytas konteinerio ciklo intermodaliniame terminale modelis gali būti sėkmingai naudojamas siekiant išanalizuoti ir tarpusavyje palyginti konteinerių aptarnavimo technologijų alternatyvas, numatomas taikyti terminale. Atlikus daugiakriterinį vertinimą pagal darbe pateiktą metodiką, galima apskaičiuoti didžiausią naudingumo laipsnį pasiekiančią technologiją ir pagal tai nustatyti, kuri iš tiriamų alternatyvų yra efektyviausia ir kurią diegti terminale yra veiksmingiausia.

Technologijų vertinimo metodika gali būti pritaikyta įvairiems skirtingo dydžio ir tipo intermodaliniams terminalams.

Daugiakriteriniam vertinimui atlikti reikia žinoti terminalo dydį, įskaitant ir sandėliavimo aikštelės išplanavimą bei jos matmenis. Taip pat turėtų būti žinomi detalūs tiriamose konteinerių aptarnavimo sistemose dalyvaujančios įrangos techniniai parametrai.

Gauti technologijų vertinimo rezultatai yra išreikšti santykinio arba procentiniu dydžiu ir dėl to tarpusavyje lengvai palyginami.

4.6. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Nustatyta, kad didžiausią įtaką konteinerio aptarnavimo ciklui turi dokumentų ir konteinerio būklės patikrinimo trukmė bei kitos muitinės procedūros ($q_{7.1} = 0,0336$), konteinerio kėlimo greitis ($q_{1.3} = 0,0329$; $q_{3.3} = 0,0315$; $q_{5.4} = 0,0329$) ir nuleidimo greitis ($q_{1.5} = 0,0315$; $q_{3.5} = 0,0322$; $q_{5.6} = 0,0322$).

2. Atlikus tradicinių terminalo technologijų daugiakriterinį vertinimą apskaičiuota, kad vilkiko su platformų sąstatu sistemos santykinis reikšmingumas yra 0,2587, RTG kranų sistemos – 0,1506, RMG kranų sistemos – 0,1554, konteinerinių krautuvų sistemos – 0,1310, ožinių krautuvų tiesioginės sistemos – 0,1449, ožinių krautuvų perstatomosios sistemos – 0,1595. Įvertinti sistemų reikšmingumai parodo technologijos prioritetiškumą darbo veiksmingumo aptarnaujant konteinerį atžvilgiu.

3. Atsižvelgiant į alternatyvų santykinius reikšmingumus nustatyta, jog esant priimtoms sąlygoms didžiausią naudingumo laipsnį turi ir dėl to efektyviausia laikytina vilkiko su platformų sąstatu sistema. Lyginant su šia sistema

kitas technologijas apskaičiuota, kad jų naudingumo laipsnis svyruoja nuo 50 iki 62 procentų.

4. Įvertinus technologijų sandėliavimo pajėgumus priimta išvada, kad vilki-ko su platformų sąstatu sistema terminale gali būti naudojama tik esant mažoms konteinerių srautų apimtims, kai vieno hektaro plote gali būti sandėliuojama iki 250 TEU. Dėl to ši technologija netinkama taikyti įprastiniuose vidutinį arba didelį darbo krūvį turinčiuose terminaluose, kuomet aptarnaujami intensyvūs konteinerių srautai.

5. Nustatyta, kad jeigu terminale aptarnaujamiems konteineriams sandėliuoti reikalingi sandėliavimo pajėgumai siekia iki 500 TEU/ha arba 750 TEU/ha, efektyviausia iš taikytinų technologijų abiem atvejais yra ožinių krautuvų perstatomoji sistema. Jei konteinerių srautų apimtys yra didelės ir sandėliavimo pajėgumų poreikis siekia 1000 TEU/ha ir daugiau, efektyvesnė iš dviejų taikytinų technologijų yra RMG kranų sistema.

Bendrosios išvados

1. Atlikus mokslinės literatūros, nagrinėjančios intermodalinių terminalų veiklos problemas, analizę nustatyta, kad egzistuoja nemažai modelių, sudarančių sąlygas tobulinti operatyvinę terminalo veiklą. Tačiau modelių, suteikiančių galimybę nustatyti kuri technologija terminale būtų racionaliausia, nenustatyta.

2. Apskaičiuota, kad didžiausią įtaką konteinerio aptarnavimo ciklui turi dokumentų ir konteinerio būklės patikrinimo trukmė (veiksnių reikšmingumo koeficientas yra 0,0336), konteinerio kėlimo greitis (veiksnių reikšmingumo koeficientas krovos krantinėje metu yra 0,0329; krovos sandėliavimo aikštelėje metu – 0,0315 ir 0,0329) ir konteinerio nuleidimo greitis (veiksnių reikšmingumo koeficientas krovos krantinėje metu yra 0,0315; krovos sandėliavimo aikštelėje metu – 0,0322 ir 0,0322).

3. Daugiakriterinio vertinimo skaičiavimais nustatyta, kad didžiausią naudingumo laipsnį esant priimtoms sąlygoms pasiekia ir dėl to efektyviausia laikytina vilkiko su platformų sąstatu sistema. Kitų technologijų naudingumo laipsniai lyginant su šia sistema kinta nuo 50 iki 62 procentų.

4. Darbe išaiškinta, kad technologijų panaudojimą terminale riboja jų sandėliavimo pajėgumai. Dėl šios priežasties nustatyta efektyviausia sistema gali būti pritaikyta tik mažą darbo krūvį turinčiuose terminaluose, kai aptarnauti konteinerius sandėliavimo pajėgumų poreikis neviršija 250 TEU/ha.

5. Jei terminale aptarnaujamus konteinerius sandėliuoti reikalingi sandėliavimo pajėgumai siekia iki 500 TEU/ha, terminale gali būti naudojamos ožinių kranų ir krautuvų sistemos. Nustatyta, kad efektyviausia iš taikytinų technologijų yra ožinių krautuvų perstatomoji sistema.

6. Jei terminale aptarnaujamus konteinerius sandėliuoti reikalingi sandėliavimo pajėgumai siekia iki 750 TEU/ha, terminale gali būti naudojamos ožinių kranų ir ožinių krautuvų sistemos. Nustatyta, kad nagrinėjamu atveju efektyviausia taip pat yra ožinių krautuvų perstatomoji sistema.

7. Jei terminale aptarnaujamų konteinerių srautai yra intensyvūs ir sandėliavimo pajėgumų poreikis siekia 1000 TEU/ha ir daugiau, terminale gali būti naudojamos tik ožinių kranų sistemos. Nustatyta, kad efektyvesnė yra ožinių kranų ant geležinkelio bėgių sistema.

Literatūra ir šaltiniai

Abacoumkin, C.; Ballis, A. 2004. Development of an expert system for the evaluation of conventional and innovative technologies in the intermodal transport area, *European Journal of Operational Research* 152 (2): 410–419.

Al-Eraqi, A. S.; Mustafa, A.; Khader, A. T.; Barros, C. P. 2008. Efficiency of Middle Eastern and East African Seaports: application of DEA using window analysis, *European Journal of Scientific Research* 23 (4): 597–612.

Andruškevičius, A. 2005. Rangovų vertinimas daugiakriteriniu Copras metodu, *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas* 11 (3): 158–169.

Augustinaitis, A.; Rudzkienė, V.; Petrauskas, R. A.; Dagytė, I.; Martinaitytė, E.; Leichteris, E.; Malinauskienė, E.; Višnevskė, V.; Žilionienė, I. 2009. *Lietuvos e. valdžios gairės*. Vilnius: Mykolo Romerio universitetas. 350 p.

Baležentis, A.; Baležentis, T. 2010. Europos Sąjungos valstybių narių kaimo darnaus vystymo vertinimas, *Management theory and studies for rural business and infrastructure development* 23 (4): 16–24.

Baležentis, A.; Baležentis, T. 2011. Kaimo darnaus vystymo strateginis valdymas: Daugiakriterinio vertinimo metodai ir integruotas Lietuvos ūkininkų ūkių veiklos efektyvumo vertinimas, *Management theory and studies for rural business and infrastructure development* 1 (25): 25–35.

Ballis A.; Golias J. 2002. Comparative evaluation of existing and innovative rail-road freight transport terminals, *Transportation Research* 36 (7): 593–611.

Barysienė, J.; Speičytė, E. 2008. ES finansinės paramos intermodalinio transporto plėtrai Lietuvoje galimybių vertinimas, *Pranešimas 11-oje Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusioje 2008 m. gegužės 15 d. Vilniuje.

Barysienė, J.; Speičytė, E. 2009. Darnaus transporto sistemos plėtojimo Lietuvoje analizė, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 1 (6): 77–80.

Barros, C. P. 2006. A benchmark analysis of Italian seaports using Data Envelopment Analysis, *Maritime Economics and Logistics* 8 (4): 347–365.

Barros, C. P.; Athanassiou, M. 2004. Efficiency in European seaports with DEA: Evidence from Greece and Portugal, *Maritime Economics and Logistics* 6: 122–140.

Baublys, A. 2007. *Transporto rūšių sąveika*. Vilnius: Technika. 282 p.

Beškovnik, B.; Twrdy, E. 2010. Planing organization and productivity simulation tool for maritime container terminals, *Transport* 25 (3): 293–299.

Bierwirth, C.; Meisel, F. 2009. A fast heuristic for quay crane scheduling with interference constraints, *Journal of Scheduling* 12 (4): 345–360.

Bierwirth, C.; Meisel, F. 2010. A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals, *European Journal of Operational Research* 202 (3): 615–627.

Bish, E. K. 2003. A multiple-crane-constrained scheduling problem in a container terminal, *European Journal of Operational Research* 144 (1): 83–107.

Brauers, W. K. M.; Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2010. Regional development in Lithuania considering multiple objectives by the MOORA method, *Technological and Economic Development of Economy* 16 (4): 613–640.

Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2006. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy, *Control and Cybernetics* 35 (2): 445–469.

Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2009. Robustness of the multi-objective Moora method with a test for the facilities sector, *Technological and Economic Development of Economy* 15 (2): 352–375.

Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2010. Project management by MULTIMOORA as an instrument for transition economies, *Technological and Economic Development of Economy* 16 (1): 5–24.

Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2011. MULTIMOORA optimization used to decide on a bank loan to buy property, *Technological and Economic Development of Economy* 17 (1): 174–188.

Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Viltienė, T. 2008. Multi-objective contractor's ranking by applying the Moora method, *Journal of Business Economics and Management* 9 (4): 245–255.

Brock, W. A.; Hommes, C. H. 1997. A rational route to randomness, *Econometrica* 65 (5): 1059–1095.

Campisi, D.; Gastaldi, M. 1996. Environmental protection, economic efficiency and intermodal competition in freight transport, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 4 (6): 391–406.

Cao, J.; Lee, D. H.; Chen, J. H. Shi, Q. 2010b. The integrated yard truck and yard crane scheduling problem: Bender's decomposition-based methods, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46 (3): 344–353.

Cao, J.; Shi, Q.; Lee, D. 2010a. Integrated quay crane and yard truck schedule problem in container terminals, *Tsinghua Science and Technology* 15 (4): 467–474.

Cao, J.; Shi, Q.; Lee, D. 2008. A decisions support method for truck scheduling and storage allocation problem at container, *Tsinghua Science and Technology* 13 (S1): 211–216.

Chang, C. L. 2010. A modified VIKOR method for multiple criteria analysis, *Environmental Monitoring and Assessment* 168 (1–4): 339–344.

Chang, C. L.; Hsu, C. 2009. Multi-criteria analysis via the VIKOR method for prioritizing land-use restraint strategies in the Tseng-Wen reservoir watershed, *Journal of Environmental Management* 90 (11): 3226–3230.

Chang, D.; Jiang, Z.; Yan, W.; He, J. 2010. Integrating berth allocation and quay crane assignments, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46 (6): 975–990.

Chang, D.; Jiang, Z.; Yan, W.; He, J. 2011. Developing a dynamic rolling-horizon decision strategy for yard crane scheduling, *Advanced Engineering Informatics* Available online 27 March 2011.

Chang, J. R.; Chen, D. H.; Hung, C. T. 2005. Selecting preventive maintenance treatments in Texas: Using the technique for order preference by similarity to the ideal solution for specific pavement Study – 3 sites, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1933: 62–71.

Chen, C. Y.; Chao, S. L. 2004. A time-space network model for allocating yard storage space for export containers, *Transportation Planning Journal* 33 (2): 227–248.

Chen, J. H.; Lee, D. H.; Cao, J. X. 2011. Heuristics for quay crane scheduling at indent berths, *Transportation Research* Available online 27 April 2011.

Chen, L.; Bostel, N.; Dejax, P.; Cai, J.; Xi, L. 2007. A tabu search algorithm for the integrated scheduling problem of container handling system in a maritime terminal, *European Journal of Operational Research* 181 (1): 40–58.

Chen, L.; Lu, Zh. 2010. The storage location assignment problem for outbound containers in a maritime terminal, *International Journal of Production Economics*, Available online 25 September 2010: 1–8.

Cheon, S. H.; Dowall, D. E.; Song, D. W. 2010. Evaluating impacts of institutional reforms on port efficiency changes: Ownership, corporate structure, and total factor

productivity changes of world container ports, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46 (4): 546–561.

Corry, P.; Kozan E. 2008. Optimised loading patterns for intermodal trains, *OR Spectrum* 30 (4): 721–750.

Council Directive 92/106/EEC of 7 December 1992 on the establishment of common rules for certain types of combined transport of goods between Member States. *Official Journal of the European Communities* L 368, 17.12.1992: 38–42.

Council Directive 96/53/EC of 25 July 1996 Laying Down for Certain Vehicles Circulating within the Community the Maximum Authorized Dimensions in National and International Traffic and the Maximum Authorized Weights in International Traffic. *Official Journal of the European Communities* L 235, 17.9.1996: 59–75.

Council Regulation (EC) No 2196/98 of 1 October 1998 concerning the granting of Community financial assistance for actions of an innovative nature to promote combined transport. *Official Journal* L 277, 14.10.1998: 1–6.

Crainic, T. G.; Kim, K. H. 2007. Intermodal Transportation, *Chapter 8 in Handbook in OR & MS*, 14: 467–537.

Cristobal, J. R. S.; Biezma, M. V.; Martinez, R.; Somoza, R. 2009. Selection of materials under aggressive environments: The VIKOR method, in *Proceedings of the 3rd International Conference on Integrity, Reliability and Failure*, Porto/ Portugal, 1–8.

Cullinane, K.; Ji, P.; Wang, T. 2005a. The relationship between privatization and DEA estimates of efficiency in the container port industry, *Journal of Economics and Business* 57 (5): 433–462.

Cullinane, K.; Song, D. W. 2003. A stochastic frontier model of the productive efficiency of Korean container terminals, *Applied Economics* 35 (3): 251–267.

Cullinane, K.; Song, D. W. 2006. Estimating the relative efficiency of European container ports: a stochastic frontier analysis, *Research in Transportation Economics* 16: 85–115.

Cullinane, K.; Song, D. W.; Gray, R. 2002. A stochastic frontier model of the efficiency of major container terminals in Asia: assessing the influence of administrative and ownership structures, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 36 (8): 743–762.

Cullinane, K.; Song, D.W.; Wang, T. F. 2005b. The application of mathematical programming approaches to estimating container port production efficiency, *Journal of Productivity Analysis* 24 (1): 73–92.

Cullinane, K.; Wang, T. 2006. The efficiency of European container ports: A cross-section data envelopment analysis, *International Journal of Logistics Research and Applications* 9 (1): 19–31.

Cullinane, K.; Wang, T.; Song, D.; Ji, P. 2006. The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 40 (4): 354–374.

Dėjus, T. 2011. Safety of technological projects using multi-criteria decisions making methods, *Journal of Civil Engineering and Management* 17 (2): 177–183.

Deng, J. L. 1989. Introduction to Grey system Theory, *The Journal of Grey Theory* 1: 1–24.

European Conference of Ministers of Transport and the European Commission (ECMT, EC). 2001. *Terminology on combined transport*. New York, Geneva. 69 p.

Fabiano, B.; Curro, F.; Reverberi, A. P.; Pastorino, R. 2010. Port safety and the container revolution: A statistical study for human factor and occupational accidents over the long period, *Safety Science* 48 (8): 980–990.

Fiquet E. 1999. Intermodal transport can help solve Europe's transport problems, *European Railway Review* 5 (1): 79–88.

Giallombardo, G.; Moccia, L.; Salani, M.; Vacca, I. 2010. Modeling and solving the tactical berth allocation problem, *Transportation Research Part B: Methodological* 44 (2): 232–245.

Giallombardo, M.; Moccia, L.; Salani, M.; Vacca, I. 2010. Modeling and solving the tactical berth allocation problem, *Transportation Research Part B: Methodological* 44 (2): 232–245.

Ginevičius, R.; Butkevicius, A.; Podvezko, V. 2005. Naujų Europos Sąjungos šalių ekonominės plėtros daugiakriterinis įvertinimas, *Verslas: teorija ir praktika* 6 (2): 85–93.

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2001. Complex evaluation of economical-social development of Lithuanian regions, *Statyba* 7 (4): 304–309.

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2004. Complex evaluation of the use of information technologies in the countries of Eastern and Central Europe, *Journal of Business Economics and Management* 5(4): 183–191.

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2006. Assessing the financial state of construction enterprises, *Technological and Economic Development of Economy* 12 (3): 188–194.

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2007. Some problems of evaluating multicriteria decision methods, *International Journal of Management and Decision Making* 8 (5/6): 527–539.

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2008a. Multicriteria graphical-analytical evaluation of the financial state of construction enterprises, *Technological and Economic Development of Economy* 14 (4): 452–461.

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2008b. Daugiakriterinio vertinimo taikymo galimybės kiekybiniam socialinių reiškinių vertinimui, *Verslas: teorija ir praktika* 9 (2): 81–87.

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2008c. Daugiakriterinio vertinimo būdų suderinamumas, *Verslas: teorija ir praktika* 9 (1): 73–80.

Ginevičius, R.; Podvezko, V. 2008d. Multicriteria evaluation of Lithuanian banks from the perspective of their reliability for clients, *Journal of Business Economics and Management* 9 (4): 257–267.

- Ginevičius, R.; Podvezko, V.; Bruzgė, Š. 2008a. Evaluating the effect of state aid to business by multicriteria methods, *Journal of Business Economics and Management* 9 (3): 167–180.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V.; Mikelis, D. 2004. Quantitative evaluation of economic and social development of Lithuanian regions, *Ekonomika* 65: 67–81.
- Ginevičius, R.; Podvezko, V.; Raslanas, S. 2008b. Evaluating the alternative solutions of wall insulation by multicriteria methods, *Journal of Civil Engineering and Management* 14 (4): 217–226.
- Golbabaie, F.; Seyedalizadeh Ganji, S. R.; Arabshahi, N. 2010. Multi-criteria evaluation of stacking yard configuration, *Journal of King Saud Univeristy (Science)*, Available online 27 August 2010: 1–8.
- Golias, M.; Boile, M.; Theofanis, S. 2006. The berth allocation problem: a formulation reflecting time window service deadlines, in *Proceedings of the 48th Transportation Research Forum*, Boston, 1–21.
- Gonzalez, M. M.; Trujillo, L. 2008. Reforms and infrastructure efficiency in Spain container ports, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 42 (1): 243–257.
- Goodchild, A. V. 2005. *Crane double cycling in container ports: algorithms, evaluation, and planning*: PhD dissertation. University of California. Berkeley: ProQuest Information and Learning Company. 126 p.
- Goodchild, A. V.; Daganzo, C. F. 2006. Double-cycling strategies for container ships and their effect on ship loading and unloading operations, *Transportation Science* 40 (4): 473–483.
- Goodchild, A. V.; Daganzo, C. F. 2007. Crane double cycling in container ports: planning methods and evaluation, *Transportation Research Part B: Methodological* 41(8): 875–891.
- Goussiatiner, A. 2010. Efficiency of multi-trailer systems for ship to stacks container transportation, *The online Journal of advanced technologies for ports and terminals* 27: 43–78.
- Guan, Y.; Cheung, R. K. 2004. The berth allocation problem: models and solution methods, *OR Spectrum* 26 (1): 75–92.
- Gunter H. O.; Kim, K. H. 2006. Container terminals and terminal operations, *OR Spectrum* 28 (4): 437–445.
- Guo, X.; Huang, S. Y.; Hsu, W. J.; Low, M. Y. H. 2011. Dynamic yard crane dispatching in container terminals with predicted vehicle arrival information, *Advanced Engineering Informatics* Available online 2 March 2011.
- Han, M.; Li, P.; Sun, J. 2006. The algorithm for berth scheduling problem by the hybrid optimization strategy GASA, in *Proceedings of the 9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, Singapore: IEEE, 1–4.

- Han, X. L.; Lu, Z. Q.; Xi, L. F. 2010. A proactive approach for simultaneous berth and quay crane scheduling problem with stochastic arrival and handling time, *European Journal of Operational Research* 207 (3): 1327–1340.
- Hansen, P.; Oguz, C. 2003. A note on formulations of static and dynamic berth allocation problems, *Les Cahiers du Gerad* 30: 1–17.
- Hansen, P.; Oguz, C.; Mladenovic, N. 2008. Variable neighborhood search for minimum cost berth allocation, *European Journal of Operational Research* 191 (3): 636–649.
- He, J.; Chang, D.; Mi, W.; Yan, W. 2010. A hybrid parallel genetic algorithm for yard crane scheduling, *Transportation Research* 46 (1): 136–155.
- Hendriks, M.; Laumanns, M.; Lefebvre, E.; Udding, J. T. 2008. Robust periodic berth planning of container vessels, in *Proceedings of the 3rd German-Korean Workshop on Container Terminal Management: IT-based Planning and Control of Seaport Container Terminals and Transportation Systems*, Bremen, 1–13.
- Hendriks, M.; Laumanns, M.; Lefebvre, E.; Udding, J. T. 2010. Robust cyclic berth planning of container vessels, *OR Spectrum* 32 (3): 501–517.
- Hine, J. 1999. Integration, integration, integration... Planning for sustainable and integrated transport systems in the new millennium, *Transport Policy* 7 (3): 175–177.
- Huang, W. C.; Chu, C. Y. 2003. Cost comparison of straddle carrier direct and relay systems in container terminals, *Journal of Marine Science and Technology* 11 (4): 197–204.
- Huang, W.C.; Chu, C.Y. 2004. A selection model for in-terminal container handling systems, *Journal of marine Science and Technology* 13 (3): 159–170.
- Hwang, C. L.; Yoon, K. 1981. *Multiple decision making under multiple criteria: methods and applications*. Berlin: Springer-Verlag.
- Imai, A.; Chen, H. C.; Nishimura, E.; Papadimitriou, S. 2008a. The simultaneous berth and quay crane allocation problem, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 44 (5): 900–920.
- Imai, A.; Nishimura, E.; Papadimitriou, S. 2003. Berth allocation with service priority, *Transportation Research* 37 (50): 437–457.
- Imai, A.; Nishimura, E.; Papadimitriou, S. 2008b. Berthing ships at a multi-user container terminal with a limited quay capacity, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 44 (1): 136–151.
- Imai, A.; Nishimura, E.; Papadimitrou, S. 2001. The dynamic berth allocation problem for a container port, *Transportation Research Part B: Methodological* 35 (4): 401–417.
- Imai, A.; Sun, X.; Nishimura, E.; Papadimitrou, S. 2005. Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach, *Transportation Research Part B: Methodological* 39 (3): 199–221.
- Imai, A.; Zhang, J. T.; Nishimura, E.; Papadimitriou, S. 2007. The berth allocation problem with service time and delay time objectives, *Maritime Economics & Logistics* 9 (4): 269–290.

International Union of combined Road-Rail transport companies (UIRR). 2011. *Statistics*. Brussels. 16 p.

International Union of combined Road-Rail transport companies (UIRR). 2009. *CO₂ reduction through Combined Transport*. Brussels. 8 p.

International Union of combined Road-Rail transport companies (UIRR). 2003. *CO₂ reduction through Combined Transport*. Brussels. 19 p.

International Union of combined Road-Rail transport companies (UIRR). 2010. *40 years of Road-Rail Combined Transport in Europe / From piggyback traffic to the Intermodal transport system*. Brussels. 80 p.

Yan, W.; Huang, Y.; Chang, D.; He, J. 2011. An investigation into knowledge-based yard crane scheduling for container terminals, *Advanced Engineering Informatics* Available online 25 March 2011.

Jahanshahloo, G. R.; Lotfi, F. H.; Izadikhah, M. 2006. An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval data, *Applied Mathematics and Computation* 175 (2): 1375–1384.

Janic, M. 2007. Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network, *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 12 (1): 33–44.

Jaržemskienė, I. 2007. The evolution of intermodal transport research and its development issues, *Transport* 22 (4): 296–306.

Jaržemskis, A. 2008. Assumptions of small-scale intermodal transport, *Transport* 23 (1): 16–20.

Kaisar, E. I.; Pathomsiri, S.; Haghani, A. 2006. Efficiency measurement of US ports using data envelopment analysis, in *Proceedings of the National Urban Freight Conference*, Long Beach: 16 p.

Kaklauskas, A.; Zavadskas, E. K.; Banaitis, A.; Šatkauskas, G. 2007. Defining the utility and market value of real estate a multiple criteria approach, *International Journal of Strategic Property Management* 11 (2): 107–120.

Kalibatas, D. 2009. *Aplinkos veiksnių įtakos gyvenamosioms patalpoms daugiataktis vertinimas*: Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 110 p.

Kalibatas, D.; Krutinis, M.; Viteikienė, M. 2007. Patalpų mikroklimato daugiataktis vertinimas, *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas* 13 (1): 24–31.

Kim, J. H.; Park, K. T. 2003. A note on a dynamic space-allocation method for outbound containers, *European Journal of Operational Research* 148 (1): 92–101.

Kim, K. H.; Kim, K. Y. 1999. Routing straddle carriers for the loading operation of containers using beam search algorithm, *Computers & Industrial Engineering* 36 (1): 109–136.

- Kim, K. H.; Kim, K. W.; Hwang, H.; Ko, C. S. 2004. Operators-scheduling using a constraint satisfaction technique in port container terminals, *Computers & Industrial Engineering* 46 (2): 373–381.
- Kim, K. H.; Lee, K. M.; Hwang, H. 2003. Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals, *International Journal of production Economics* 84 (3): 283–292.
- Kim, K. H.; Moon, K. C. 2003. Berth scheduling by simulated annealing, *Transportation Research Part B: Methodological* 37 (6): 541–560.
- Kim, K. H.; Park, Y. M. 2004. A crane scheduling method for port container terminals, *European Journal of Operational Research* 156 (3): 752–786.
- Kim, K. H.; Park, Y. M.; Ryu, K. R. 2000. Deriving decision rules to locate export containers in container yards, *European Journal of Operational Research* 124 (1): 89–101.
- Klink H. A.; Berg G. 1998. Gateways and intermodalism, *Journal of Transport Geography*, 6 (1): 1–9.
- Kracka, M.; Brauers, W. K. M.; Zavadskas, E. K. 2010. Ranking heating losses in a building by applying the MULTIMOORA, *Engineering Economics* 21 (4): 352–359.
- Lau, H.Y.K.; Zhao, Y. 2008. Integrated scheduling of handling equipment at automated container terminals, *International Journal of Production Economics* 112 (2): 665–682.
- Lee, B. K.; Kim, K. H. 2010. Optimizing the block size in container yards, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46 (1): 120–135.
- Lee, C. X. 2005. *Malaysian container port performance measurement*, M.Sc Thesis. Malaysia University of Science and Technology: Department of Transportation and Logistics.
- Lee, D. H.; Chen, J. H.; Cao, J. X. 2010. The continuous berth allocation problem: A greedy randomized adaptive search solution, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46 (6): 1017–1029.
- Lee, D. H.; Wang, H. Q.; Miao, L. 2008a. Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 44 (1): 124–135.
- Lee, D. H.; Chen, J. H.; Cao, J. X. 2010. The continuous berth allocation problem: a greedy randomized adaptive search solution, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46 (6): 1017–1029.
- Lee, D. H.; Wang, H. Q.; Miao, L. 2008b. Quay crane scheduling with handling priority in port container terminals, *Engineering Optimization* 40 (2): 179–189.
- Lee, Y.; Chen, C. Y. 2008a. An optimization heuristic for the berth scheduling problem, *European Journal of Operational Research* 192 (2): 500–508.
- Lee, L. H.; Chew, E. P.; Tan, K. C.; Han, Y. 2006. An optimization model for storage yard management in transshipment hubs, *OR Spectrum* 28 (4): 539–561.

Legato, P.; Gulli, D.; Trunfio, R. 2008. The quay crane deployment problem at a maritime container terminal, in *Proceedings of the 22th European Conference on Modelling and Simulation (ECMS 2008)*, Cyprus, 53–59.

Legato, P.; Mazza, R. M. 2001. Berth planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation, *European Journal of Operational Research* 133 (3): 537–547.

Le-Griffin, H. D.; Murphy, M. 2008. *Container terminal productivity: Experiences at the ports of Los Angeles and Long Beach*. Los Angeles: METTRANS Transportation Center. 35 p.

Li, W.; Wu, Y.; Petering, M. E. H.; Goh, M.; de Souza, R. 2009. Discrete time model and algorithms for container yard crane scheduling, *European Journal of Operational Research* 198 (1): 165–172.

Liang, C.; Huang, Y.; Yang, Y. 2009. A quay crane dynamic scheduling problem by hybrid evolutionary algorithm for berth allocation planning, *Computers & Industrial Engineering* 56 (3): 1021–1028.

Lim, A.; Rodrigues, B.; Xu, Z. 2004a. Approximation schemes for the crane scheduling problem, *Lecture Notes in Computer Science* 3111: 323–335.

Lim, A.; Rodrigues, B.; Xu, Z. 2004b. Solving the crane scheduling problem using intelligent search schemes (extended abstract), *Lecture Notes in Computer Science* 3258: 747–751.

Lim, A.; Rodrigues, B.; Xu, Z. 2007. A m-parallel crane scheduling problem with a non-crossing constraint, *Naval Research Logistics* 54 (2): 115–127.

Lin, L. C.; Tseng, L. A. 2005. Application of DEA and SFA on the measurement of operating efficiencies for 27 international container ports, in *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Harbin: 592–607.

Linn, R.; Liu, J.; Wan, Y.; Zhang, C.; Murty, K.G. 2003. Rubber tyred gantry crane deployment for container yard operation, *Computers & Industrial Engineering* 45 (3): 429–442.

Liu, B. L.; Liu, W. L.; Cheng, C. P. 2008. The efficiency of container terminals in mainland China: an application of DEA approach, in *Proceedings of the International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM' 08)*, Dalian: IEEE, 1–10.

Liu, J.; Wan, Y. W.; Wang, L. 2006. Quay crane scheduling at container terminals to minimize the maximum relative tardiness of vessel departures, *Naval Research Logistics* 53 (1): 60–74.

Liu, Q. 2010. *Efficiency analysis of container ports and terminals*: PhD Thesis. University College London. London: Centre for Transport Studies. 206 p.

Lotfi, F. H.; Fallahnejad, R.; Navidi, N. 2011. Ranking efficient units in DEA by using TOPSIS method, *Applied Mathematical Sciences* 5 (17): 805–815.

- Lowe D. 2006. *Intermodal freight transport*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann. 280 p.
- Lu, C. S.; Shang, K. C. 2005. An empirical investigation of safety climate in container terminal operators, *Journal of Safety Research* 36 (3): 297–308.
- Lu, Ch.Sh.; Yang, C.S. 2010. Safety leadership and safety behaviour in container terminals operations, *Safety Science* 48 (2): 123–134.
- Macharis C., Bontekoning Y. M. 2004. Opportunities for OR in intermodal freight transport research: a review, *European Journal of Operational Research* 153 (2): 400–416.
- Madhuri, B. C.; Chandulal, A. J.; Padmaja, M. 2010. Selection of best Web Site by applying Copras-G method, *International Journal of Computer Science and Onformation Technologies* 1 (2): 138–146.
- Malinauskas, P.; Kalibatas, D. 2005. Racionalių statybos technologinių procesų parinkimas taikant Copras metodą, *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas* 11 (3): 197–205.
- Markovic, Z. 2010. Modification of TOPSIS method for solving of multicriteria tasks, *Yugoslav Journal of Operations Research* 20 (1): 117–143.
- Martinez-Budria, E.; Diaz-Armas, R.; Navarro-Ibanez, M.; Ravelo-Mesa, T. 1999. A study of the efficiency of spanish port authorities using data envelopment analysis, *International Journal of Transport Economics* 26 (2): 237–253.
- McCalla R. J. 1999. Global change, local pain: intermodal seaport terminals and their service areas, *Journal of Transport Geography* 7 (4): 247–254.
- Meersmans, P. J. M.; Dekker, R. 2001. Operations research supports container handling, *Econometric Institute Research Papers* 22: 1–22.
- Meidutė, I. 2005. Comparative analysis of the definitions of logistics centres, *Transport* 20 (3): 106–110.
- Meisel, F.; Bierwirth C. 2009. Heuristics for the integration of crane productivity in the berth allocation problem, *Transportation Research* 45 (1): 196–209.
- Meisel, F.; Bierwirth, C. 2011. A unified approach for the evaluation of quay crane scheduling models and algorithms, *Computers & Operations Research* 38 (3): 683–693.
- Moccia, L.; Cordeau, J. F.; Gaudioso, M.; Laporte. 2006. A branch-and-cut algorithm for the quay crane scheduling problem in a container terminal, *Naval Research Logistics* 53 (1): 45–59.
- Mocuta, G. E.; Ghita, E. 2007. The analysis of the transshipment capacity of an intermodal terminal, in *Proceedings of the International Conference on Economic Engineering and Manufacturing Systems*, Brasov, 532–535.
- Monaco, F.; Sammarra, M. 2007. The berth allocation problem: a strong formulation solved by a Lagrangean approach, *Transportation Science* 41 (2): 265–280.

- Munisamy, S.; Singh, G. 2011. Benchmarking the efficiency of Asian container ports, *African Journal of Business Management* 5 (4): 1397–1407.
- Murty, K. G.; Liu, J.; Wan, Y.; Linn, R. 2005. A decisions support system for operations in a container terminal, *Decision Support Systems* 39 (3): 309–332.
- Nathanail, E. 2007. Developing an integrated logistics terminal network in the CADSES, *Transition Studies Review* 14 (1): 125–146.
- Ng, A. S. F.; Lee, C. X. 2007. *Port productivity analysis by using DEA: A case study in Malaysia*, Working Paper. The University of Sydney: Institute of Transport and Logistic Studies. 14 p.
- Ng, W. C. 2005. Crane scheduling in container yards with inter-crane interference, *European Journal of Operational Research* 164 (1): 64–78.
- Ng, W. C.; Mak, K. L. 2005. Yard crane scheduling in port container terminals, *Applied Mathematical Modelling* 29 (3): 263–276.
- Nishimura, E.; Imai, A.; Janssens, G. K.; Papadimitriou, S. 2009. Container storage and transshipment marine terminals, *Transportations Research Part E: Logistics and Transportation Review* 45 (5): 771–786.
- Nishimura, E.; Imai, A.; Papadimitriou, S. 2005. Yard trailer routing at a maritime container terminal, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 41 (1): 53–76.
- Opricovic, S.; Tzeng, G. H. 2002. Multicriteria planning of post-earthquake sustainable reconstruction, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 17 (3): 211–220.
- Opricovic, S.; Tzeng, G. H. 2004. Compromise solution by MCDM methods: a comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research* 156 (2): 445–455.
- Opricovic, S.; Tzeng, G. H. 2007. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, *European Journal of Operational Research* 178: 514–529.
- Park, B. 2005. An efficiency analysis for the Korea container terminals by the DEA/Simulation Approach, *Korean Management Science Review* 22 (2): 77–97.
- Parola, F.; Sciomachen, A. 2005. Intermodal container flows in a port system network: Analysis of possible growths via simulation modes, *International Journal of Production Economics* 97 (1): 75–88.
- Paulauskas, V.; Barzdžiukas, R.; Plačienė, B.; Tranyzas, A.; Lukauskas, V.; Jonkus, M.; Maksimavičius, R.; Paulauskienė, A.; Maniachin, A. 2001. *Uosto technologija*. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla. 256 p.
- Petering, M. E. H. 2009. Effect of block width and storage yard layout on marine container terminal performance, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 45 (4): 591–610.

Petering, M. E. H.; Murty, K. G. 2009. Effect of block length and yard crane deployment systems on overall performance at a seaport container transshipment terminal, *Computers & Operations Research* 36 (5): 1711–1725.

Podvezko, V. 2005. Ekspertų įvertių suderinamumas, *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymasis* 11 (2): 101–107.

Pukėnas, K. 2009. *Kokybinių duomenų analizė SSPS programa*. Kaunas: Kūno kultūros akademija. 93 p.

Raa, B.; Dullaert, W.; Schaeren, R.V. 2011. An enriched model for the integrated berth allocation and quay crane assignment problem, *Expert Systems with applications* Available online 1 May 2011.

Regulation (EC) No 1382/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 July 2003 on the granting of Community financial assistance to improve the environmental performance of the freight transport system (Marco Polo Programme). *Official Journal L* 196, 02.08.2003: 1–6.

Regulation (EC) No 1692/2006 of the European Parliament and of the Council of 24 October 2006 establishing the second Marco Polo programme for the granting of Community financial assistance to improve the environmental performance of the freight transport system (Marco Polo II) and repealing Regulation (EC) No 1382/2003. *Official Journal of the European Union L* 328, 24.11.2006: 1–13.

Roso, V. 2008. Factors influencing implementation of a dry port, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 38 (10): 782–798.

Roso, V.; Woxenius, J.; Lumsden, K. 2009. The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland, *Journal of Transport Geography* 17 (5): 338–345.

Rudzkienė, V. 2009. Mokslinių tyrimų metodai, *Pranešimas mokymuose socialinių ir humanitarinių mokslų studentams „Mokslo darbų kokybė“*, įvykusių 2009 m. rugsėjo 23 d. Vilniuje.

Sammarra, M.; Cordeau, J. F.; Laporte, G.; Monaco, M. F. 2007. A tabu search heuristic for the quay crane scheduling problem, *Journal of Scheduling* 10 (4–5): 327–336.

So, S. H.; Kim, J. J.; Cho, G.; Kim, D. K. 2007. Efficiency analysis and ranking of major container ports in Northeast Asia: An application of data envelopment analysis, *International Review of Business Research Papers* 3 (2): 486–503.

Stahlbock, R.; Voß, S. 2008a. Operations research at container terminals: a literature update, *OR Spectrum* 26 (1): 3–49.

Stahlbock, R.; Voß, S. 2008b. Vehicle Routing Problems and Container Terminals Operations – An update of Research, *Operations Research/Computer Science Interfaces Series* 43 (3): 551–589.

Steenken, D.; Voß, S.; Stahlbock, R. 2004. Container terminal operation and operations research – a classification and literature review, *OR Spectrum* 26 (1): 3–49.

Su, Ch. W.; Cheng, M.Y.; Lin, F.B. 2006. Simulation-enhanced approach for ranking major transport projects, *Journal of Civil Engineering and Management* 12 (4): 285–291.

Tamošaitienė, J. 2009. *Daugiatiksliis valdymo sprendimų vertinimas statybos planavimo etape*: Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 149 p.

Tavakkoli-Moghaddam, R.; Makui, A.; Salahi, S.; Bazzazi, M.; Taheri, F. 2009. An efficient algorithm for solving a new mathematical model for quay crane scheduling problem in container ports, *Computers & Industrial Engineering* 56 (1): 241–248.

Theofanis, S.; Boile, M.; Golias, M. 2007a. An optimization based genetic algorithm heuristic for the berth allocation problem, in *Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation*, Singapore: IEEE, 4439–4445.

Tongzon, J. 2001. Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 35 (2): 107–122.

Tongzon, J.; Heng, W. 2005. Port privatization, efficiency and competitiveness: Some empirical evidence from container ports (terminals), *Transportation Research Transportation Research Part A: Policy and Practice* 39 (5): 405–424.

Trujillo, L.; Tovar, B. 2007. The European port industry: An analysis of its efficiency, *Maritime Economics and Logistics* 9 (2): 148–171.

Tupėnaitė, L.; Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Seniut, M. 2010. Multiple criteria assessment of alternatives for built and human environment renovation, *Journal of Civil Engineering and Management* 16 (2): 257–266.

Turner, H.; Windle, R.; Dresner, M. 2004. North American containerport productivity: 1984–1997, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 40 (4): 339–356.

Turskis, Z.; Zavadskas, E. K.; Peldschus, F. 2009. Multi-criteria optimization system for decision making in construction design and management, *Engineering Economics* 1 (61): 7–17.

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). 2010. *Review of Maritime Transport 2010*. New York, Geneva: UN Publications Sales and Marketing Office. 192 p.

Ustinovičius, L.; Zavadskas, E. K.; Podvezko, V. 2007. Application of a quantitative multiple criteria decision making (MCDM-1) approach to the analysis of investments in construction, *Control and Cybernetics* 36 (1): 251–268.

Ustinovičius, L.; Zavadskas, E. K. 2004. *Statybos investicijų efektyvumo sistemos techninis įvertinimas*. Vilnius: Technika. 220 p.

Ustinovičius, L.; Zavadskas, E. K.; Podvezko, V. 2007. Application of a quantitative multiple criteria decision making (MCDM-1) approach to the analysis of investments in construction, *Control and Cybernetics* 36 (1): 251–268.

Vacca, I.; Bierlaire, M.; Salani, M. 2007. Optimization at container terminals: Status, trends and perspectives, in *Proceedings of the Swiss Transport Research Conference (STRC)*: 1–21.

Vasilis Vasiliauskas, A. 2004. *Kombinuotųjų vežimų Lietuvos teritorija plėtros technologinių galimybių tyrimas*: Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 164 p.

Vasilis Vasiliauskas, A. 2005. Transporto rūšių sąveika: Transportavimo vienetų standartizavimo perspektyvos ir problemos, iš *Transportas: 8-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos “Mokslas – Lietuvos ateitis” pranešimų rinkinys*. Vilnius: Technika, 367–371.

Vasilis Vasiliauskas, A.; Barysienė, J. 2008c. Analysis of Lithuanian transport sector possibilities in the context of European-Asian trade relations, *Transport* 23 (1): 21–25.

Vasilis Vasiliauskas, A.; Kabashkin, I. 2006. Analysis of Indicators Measuring Performance of Rail-Road Terminals, in *Proceedings of 10th International Conference „Transport Means 2006“*, Kaunas: Technologija, 93–96.

Vis, I. F. A. 2006. A comparative analysis of storage and retrieval equipment at a container terminal, *International Journal of Production Economics* 103 (2): 680–693.

Vis, I. F. A.; de Koster, R. 2003. Transshipment of containers at a container terminal: An overview, *European Journal of Operational Research* 147 (1): 1–16.

Viteikienė, M. 2006. Sustainable residential areas evaluation, *Technological and Economic Development of Economy* 12 (2): 152–160.

Viteikienė, M. 2008. *Miestų gyvenamųjų rajonų ir būstų darnos daugiataktis vertinimas (Vilniaus miesto pavyzdžiu)*: Daktaro disertacija. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 120 p.

Wang, F.; Lim, A. 2007. A stochastic beam search for the berth allocation problem, *Decision Support Systems* 42 (4): 2186–2196.

Wang, Y. M.; Elhag, T. M. S. 2006. Fuzzy TOPSIS method base don alpha level sets with an application to bridge risk assessment, *Expert Systems with Application* 31: 309–319.

Wang, T. F.; Cullinane, K.; Song, D. W. 2003. Container port production efficiency: A comparative study of DEA and FDH approaches, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 5: 698–713.

Wang, T.; Cullinane, K. 2006. The efficiency of European container terminals and implications for supply chain management, *Maritime Economics and Logistics* 8 (1): 82–99.

White Paper. European transport policy for 2010: time to decide. Commission of the European Communities, Brussels, 2001. 124 p.

White Paper. Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. European Commission, Brussels, 2011. 31 p.

Woxenius, J. 1998. *Development of small-scale intermodal transportation in a systems context*: PhD Dissertation. Chalmers University of Technology. Gotheburg: Department of Transportation and Logistics. 235 p.

Woxenius, J. 2007. Alternative transport network designs and their implications for intermodal transshipment technologies, *European Transport* 35: 27–45.

Wu, Y. C.; Goh, M. 2010. Container port efficiency in emerging and more advanced markets, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46 (6): 1030–1042.

Zavadskas, E. K.; Zakarevičius, A.; Antuchnevičienė, J. 2006. Evaluation of ranking accuracy in multi-criteria decisions, *Informatica* 17 (4): 601–618.

Zavadskas, E. K.; Antuchnevičienė, J. 2006. Development of an indicator model and ranking of sustainable revitalization alternatives of derelict property: a Lithuanian case study, *Sustainable Development* 14 (5): 287–299.

Zavadskas, E.K.; Antuchnevičienė, J. 2007. Multiple criteria evaluation of rural building's regeneration alternatives, *Building and Environment* 42 (1): 436–451.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Kaklauskienė, J. 2007b. Modelling and forecasting of a rational and sustainable development of Vilnius: emphasis on pollution, *International Journal of Environment and Pollution* 30 (3–4): 485–500.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Peldschus, F.; Turskis, Z. 2007a. Multi-attribute assessment of road design solutions by using the Copras method, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2 (4): 195–203.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2008c. Selection of the effective dwelling house walls by applying attributes values determined at intervals, *Journal of Civil Engineering and Management* 14 (2): 85–93.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2009. Multi-attribute decision making model by applying grey number, *Informatica* 20 (2): 305–320.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J.; Kalibatas, D. 2008d. Assessment of indoor environment applying Copras method with attributes determined in intervals, in *Proceedings of the 7th International Conference of Environmental Engineering*, Vilnius: Technika, 907–912.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2010. Risk assessment of construction projects, *Journal of Civil Engineering and Management* 16 (1): 33–46.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J.; Marina, V. 2008a. Selection of construction project managers by applying Copras-G method, in *Proceedings of the International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat-08)*, Riga: Transport and Telecommunication Institute, 344–350.

Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamošaitienė; Marina, V. 2008b. Multicriteria selection of project managers by applying grey criteria, *Technological and Economic Development of Economy* 14 (4): 462–477.

- Zavadskas, E. K.; Ustinovičius, L.; Turskis, Z.; Ambrašas, G.; Kutut, V. 2005. Estimation of external walls decisions of multistorey residential buildings applying methods of multicriteria analysis, *Technological and Economic Development of Economy* 11 (1): 59–68.
- Zeng, Q.; Yang, Z.; Lai, L. 2009. Model and algorithms for multi-crane oriented scheduling method in container terminals, *Transport Policy* 16 (5): 271–278.
- Zeng, Z.; Yang, Z. 2009. Integrating simulation and optimization to schedule loading operations in container terminals, *Computers & Operations Research* 36 (6): 1935–1944.
- Zhang, C.; Chen, W.; Shi, L.; Zheng, L. 2010a. A note on deriving decision rules to locate export containers in container yards, *European Journal of Operational Research* 205 (2): 483–485.
- Zhang, C.; Liu J.; Wan, Y.; Murty, K. G.; Linn, R.J. 2003. Storage space allocation in container terminals, *Transportation Research Part B: Methodological* 37 (10): 883–903.
- Zhang, C.; Wan, Y.; Liu, J.; Linn, R. 2002. Dynamic crane deployment in container storage yards, *Transportation Research Part B: Methodological* 36 (6): 537–555.
- Zhang, C.; Zheng, L.; Zhang, Z.; Shi, L.; Armstrong, A. J. 2010b. The allocation of berths and quay cranes by using a sub-gradient optimization technique, *Computers & Industrial Engineering* 58 (1): 40–50.
- Zhang, H.; Kim, K. H. 2009. Maximizing the number of dual-cycle operations of quay cranes in container terminals, *Computers & Industrial Engineering* 56 (3): 979–992.
- Zhang, Y.; Zhou, Q.; Zhu, Z. 2009. Storage planning for outbound container on maritime container terminals, in *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics*, Shenyang: IEEE, 320–325.
- Zhao, W.; Goodchild, A. V. 2010. The impact of truck arrival information on container terminal rehandling, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 46 (3): 327–343.
- Zhen, L.; Lee, L. H.; Chew, E. P. 2011. A decision model for berth allocation under uncertainty, *European Journal of Operational Research* 212 (1): 54–68.
- Zhen, L.; Lee, L. H.; Chew, E. P. 2011. A decision model for berth allocation under uncertainty, *European Journal of Operational Research* 212 (1): 54–68.
- Zhou, P.; Kang, H.; Lin, L. 2006. A dynamic berth allocation model based on stochastic consideration, in *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Dalian: IEEE, 7297–7301.
- Zhou, P. F.; Kang, H. G. 2008. Study on berth and quay-crane allocation under stochastic environments in container terminal, *Systems Engineering – Theory and Practice* 28 (1): 161–169.
- Zhu, Y.; Lim, A. 2006. Crane scheduling with non-crossing constraint, *Journal of the Operational Research Society* 57 (12): 1464–1471.

Бойко, Н. И.; Чередниченко, С.П. 2007. *Транспортно грузовые системы и склады*. Ростов-на-Дону: Феникс. 400 с.

Ширяев, С. А.; Гудков, В.А; Миротин, Л.Б. 2007. *Транспортные и погрузочно-разгрузочные средства*. Москва: Горячая линия – Телеком. 848 с.

Autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Vasilis Vasiliauskas, A.; Barysienė, J. 2008. An economic evaluation model of the logistic system based on container transportation, *Transport* 23 (4): 311–315. ISSN 1648-4142. (Thomson ISI WOS)

Jaržemskienė, I.; Barysienė, J.; Jaržemskis, V.; Jaržemskis, A. 2008. The feasibility study to transfer goods between ports of Klaipėda and Swinoujście, *Transport and Telecommunication* 9 (4): 38–48. ISSN 1407-6160. (SCOPUS)

Vasilis Vasiliauskas, A.; Barysienė, J. 2008. Intermodalinės sąveikos ir Lietuvos transporto infrastruktūros plėtojimo poreikių ir priemonių analizė, *Technologijos mokslo darbai Vakary Lietuvoje* 6: 248–254. ISSN 1822-4652.

Straipsniai kituose leidiniuose

Barysienė, J. 2009. Intermodalinės kelių – geležinkelių sąveikos potencialo Lietuvoje vertinimas, *Doktorantų mokslinės konferencijos „Jaunimas siekia pažangos – 2009“, įvykusios Kaune 2009 m. balandžio 3 d., mokslinių pranešimų rinkinys*, Kaunas: Akademija, 173–176. ISSN 1822-2331.

Vasilis Vasiliauskas, A.; Bazaras, D.; Barysienė, J. 2009. Analysis of Intermodal Transportation by Lithuanian Railways, in *Proceedings of the 13th International Conference*

„Transport means 2009“, held in Kaunas on October 22–23, 2009, Kaunas: Technologija, 104–107. ISSN 1822-296X.

Barysienė, J. 2008. “Marco Polo” programos poveikio intermodalinio transporto plėtrai Europoje analizė, *Transportas: 10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2007 m. gegužės 3 d., mokslinių pranešimų rinkinys, Vilnius: Technika, 515–519. ISBN 978-9955-28-374-4.

Jaržemskienė, I.; Barysienė, J.; Jaržemskis, V.; Jaržemskis, A. 2008. The feasibility study to transfer goods between ports of Klaipėda and Swinoujuse, in *Proceedings of the 8th International Conference „Reliability and Statistics in transportation and communication” (RelStat-08)*, held in Riga on 15–18 October, 2008, Riga: Transport and Telecommunication Institute, 113–122. ISBN 978-9984-818-11-5.

Vasilis Vasiliauskas, A.; Barysienė, J. 2007. Evaluation of competitiveness of Klaipėda state seaport in comparison with the other Baltic sea ports, *11-osios tarptautinės konferencijos „Transporto priemonės – 2007“*, įvykusios Kaune 2007 m. spalio 18–19 d., mokslinių pranešimų rinkinys, Kaunas: Technologija, 53–57. ISBN 978-9955-25-362-4.

Barysienė, J. 2006. Tarptautinio logistikos centrų tinklo formavimo Lietuvoje galimybių tyrimas, *Transportas: 9-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“*, įvykusios Vilniuje 2006 m. gegužės 25 d., mokslinių pranešimų rinkinys, Vilnius: Technika, 342–346. ISBN 9986-05-991-7.

Priedai¹

A priedas. Ekspertinio vertinimo apklausos anketa

B priedas. Ekspertinio vertinimo rezultatai

C priedas. Pagrindiniai techninių priemonių duomenys

D priedas. Pradinės technologijų veiksmų reikšmės

E priedas. Daugiakriterinio vertinimo rezultatai, kai sandėliavimo pajėgumai siekia 500 TEU/ha

F priedas. Daugiakriterinio vertinimo rezultatai, kai sandėliavimo pajėgumai siekia 750 TEU/ha

G priedas. Daugiakriterinio vertinimo rezultatai, kai sandėliavimo pajėgumai siekia 1000 ir daugiau TEU/ha

H priedas. Stebėjimo rezultatų konteinerių terminaluose analizė

¹ Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje

Jurgita BARYSIENĖ

KONTEINERIŲ APTARNAVIMO CIKLO MODELIAVIMAS
INTERMODALINIO TRANSPORTO TERMINALE

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
transporto inžinerija (03T)

MODELLING OF THE CONTAINERS HANDLING'S CYCLE
IN THE INTERMODAL TRANSPORT TERMINAL

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Transport Engineering (03T)

2011 11 15. 11,25 sp. l. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Ciklonas“
J. Jasinskio g. 15, 01111 Vilnius