

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Aurimas VILKELIS

AUTOMOBILIŲ SKIRSTYMO TINKLO MODELIAVIMAS JUNGiant GAMINTOJŲ TIEKIMO KANALUS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
TRANSPORTO INŽINERIJA (03T)



Vilnius LEIDYKLA
TECHNIKA 2013

Disertacija rengta 2009–2013 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas

doc. dr. Aidas VASILIS VASILIAUSKAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, transporto inžinerija – 03T).

VGTU leidyklos TECHNIKA 2159-M mokslo literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-609-457-539-6

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2013
© Aurimas Vilkelis, 2013
aurimas@vilkelis.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Aurimas VILKELIS

**MODELLING OF THE AUTOMOTIVE
DISTRIBUTION NETWORK BY MERGING
SUPPLY CHANNELS OF
MANUFACTURERS**

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
TRANSPORT ENGINEERING (03T)



Vilnius **LEIDYKLA** TECHNICA 2013

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2009–2013.

Scientific Supervisor

Assoc Prof Dr Aidas VASILIS VASILIAUSKAS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Transport Engineering – 03T).

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjamos Europos naujų automobilių skirstymo problemos. Pagrindinis darbo objektas – skirstymo tinklas, jungiantis skirtingus automobilių gamintojų produkcijos tiekimo kanalus Europoje. Autoriaus sukurtas automobilių produkcijos skirstymo modelis leidžia nustatyti silpnu transporto ryšiu susijusius regionus ir pritaikyti krovinių transportavimo alternatyvas, kurios užtikrintų efektyvesnį transporto resursų panaudojimą mažinant tuščios ridos, nepilno pakrovimo faktorius bei pačių transporto priemonių poreikį.

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai bei septyni priedai.

Įvade aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas, aprašomas tyrimų objektas, formuluojamas darbo tikslas bei uždaviniai, aprašoma tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė reikšmė, ginamieji teiginiai. Įvado pabaigoje pristatomos disertacijos tema autoriaus paskelbtos publikacijos ir pranešimai konferencijose bei disertacijos struktūra.

Pirmajame skyriuje Europos Sąjungoje automobilių pramonės raidą nulėmusių veiksnių analizė. Ištirti įvairių automobilių gamintojų produkcijos skirstymui taikomi sprendimai bei pateikiami geros praktikos pavyzdžiai. Atlikta mokslinės literatūros šaltinių, skirtų pagamintos produkcijos skirstymo problemoms spręsti, analizė. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados.

Antrajame skyriuje aprašyta logistinio bendradarbiavimo koncepcija, susisteminti statistiniai automobilių gamybos bei pardavimo duomenys. Skyriuje pateikiamas autoriaus sudarytas naujų automobilių tiekimo į skirstymo centrus ryšio nustatymo algoritmas bei hipotetinis produkcijos tiekimo ir transporto srautų modelis.

Trečiajame skyriuje pateikiamas transporto srautų jungimo algoritmas, kurio pagrindu buvo apskaičiuojamos pakrovimų alternatyvos ir tokiu būdu užtikrinamas transporto priemonių naudojimo tęstinumas. Galimų naujų automobilių skirstymo tinklo sutrikimų nustatymui suformuoti du skirstymo variantai: pagal pirmąjį visas pagamintos produkcijos srautas buvo priskirtas kelių, o pagal antrąjį – kelių, geležinkelių bei jūrų transportui.

Disertacijos tema publikuoti 6 moksliniai straipsniai ir pristatyti 4 pranešimai Lietuvos konferencijose. Doktorantūros studijų metu stažuotasi įmonėje „Gefco Österreich GmbH“, Austrijoje, ETH Ciuricho universitete, Eismo planavimo ir transporto sistemų institute, Šveicarijoje, FH Erfurto universitete, Transporto ir erdvinio planavimo institute, Vokietijoje. Bendra išvykų trukmė – 7 mėnesiai.

Abstract

The dissertation investigates the issues of European freight distribution problems based on the example of automotive industry. The main object of the research includes distribution network connecting supply channels of output of European automobile manufacturers. The author's developed distribution model for finished vehicle production allows to identify badly interconnected transport regions and to adapt freight transportation alternatives that ensure more efficient utilisation of transport resources by the reducing empty runs and loading factor as well as demand of transport.

The dissertation consists of four parts including Introduction, 3 chapters, General conclusions, References and 7 Annexes.

The introduction reveals the investigated problem, importance of the thesis and the object of research and describes the main aim and tasks of the work, research methodology, scientific novelty, the practical value of results and defended statements. The introduction ends in presenting the author's publications on the subject of the defended dissertation, offering the material of presentations made in conferences and defining the structure of the dissertation.

Chapter 1 provides an analysis of the factors that determined the evolution of automotive industry in the European Union. The analysis examines the solutions applied by different automotive manufacturers for production distribution and provides examples of good practices. The author analyzed the sources of scientific literature on solution of distribution problems of finished production.

Chapter 2 provides the author's algorithm for establishing a connection of new vehicle supply to distribution centers and a hypothetical model of production supply and transport flow.

Chapter 3 provides a transport flow connection algorithm, which was used for the calculation of loading alternatives and thus ensured continued use of vehicles. Two distribution options are formulated for elimination of possible interruptions in the new vehicle distribution network: in the first, the entire flow of finished production was sent by road transport and, in the second, production flow was sent via road, rail and sea transport.

6 articles focusing on the subject of the discussed dissertation have been published and 4 presentations have been given in conferences on the national level. During doctoral studies, the author had were performed four internships: first two in the company Gefco Österreich GmbH in Austria, third one in ETH Zurich University's, Transport Planning and Systems Institute in Switzerland and fourth one in FH Erfurt University's, Transport and Spatial Planning Institute in Germany. The total duration was 7 months.

Žymėjimai

Simboliai

F – automobilių gamykla;

T – skirstymo centras;

x – gamyklos numeris arba vieno gamintojo gamyklų skaičius;

y – skirstymo centro numeris arba skirstymo centrų esančių vienoje šalyje skaičius;

S – surenkamų automobilių pasiūla atskiroje gamykloje;

D – automobilių gamintojų produkcijos paklausa;

a – metai;

m – mėnuo;

n – savaitė;

p – diena;

L_t – vežimo laikas;

S_{np} – eksporto krovinių kiekis gamykloje tam tikros savaitės dieną;

LA_t – produkcijos pristatymo laikas automobilvežiu;

LR_t – produkcijos pristatymo laikas sublokuotu vagono sąstatu;

FS_{kx} – atskiroje gamykloje pagamintos produkcijos stūmimo koeficientas;

TD_{ky} – atskiro skirstymo centro produkcijos traukimo koeficientas;

t_{km} – automobilių paklausos tam tikroje šalyje sezoniškumo koeficientas per mėnesį;
 AD_{kx} – transporto paklausos koeficientas;
 AS_{ky} – transporto pasiūlos koeficientas;
 LF – pakrovimo faktorius;
 LF_A – pakrovimo faktorius į vieną automobilvežį;
 LF_W – pakrovimo faktorius į vieną vagoną;
 A – automobilvežių skaičius;
 A_s – automobilvežių poreikis;
 W – vagonų skaičius;
 W_s – vagonų poreikis;
 R_s – sublokuotų vagonų sąstato poreikis;
 R_{ex} – maksimalus sublokuotų vagonų skaičius eksporto šalyje;
 R_{im} – maksimalus sublokuotų vagonų skaičius importo šalyje;
 o – gamyklos našumas, išreikštas pagamintų automobilių kiekiu;
 i – skirstymo centro talpa, išreikšta sandėliuojamų automobilių vienetais;
 F_{ox} – atskiroje vieno gamintojo gamykloje surinktų automobilių kiekis per metus;
 T_{iy} – atskirame šalies skirstymo centre vienu metu sandėliuojamų automobilių kiekis;
 A_{dy} – importuojamų krovinų kiekis į atskirą šalies skirstymo centrą;
 D_{np} – kiekvieną savaitės dieną atvykstančių krovinų į skirstymo centrą kiekis;
 F_{Lox} – skirtingose gamyklose esančių krovinų apimtys;
 T_{Aiy} – atvykusių automobilvežių į skirstymo centrus kiekis;
 V – atvykstančių arba išvykstančių automobilių kiekis;
 G – atstumas;
 G_e – važiavimo atstumas be krovinio;
 A_c – atvykimo sutrikimai.

Santrumpos

ECG – Europos automobilių logistikos asociacija (angl. *The Association of European Vehicle Logistics*);

ACEA – Europos automobilių gamintojų asociacija (angl. *European Automobile Manufacturers' Association*);

OICA – Tarptautinė automobilių gamintojų organizacija (pranc. *Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles*);

SMMT – Automobilių gamintojų ir prekybininkų organizacija (angl. *The Society of Motor Manufacturers and Traders*);

RNE – Europos geležinkelio tinklų organizacija (angl. *Rail Net Europe*);

AGMVA – automobilių gamintojų metinės veiklos ataskaitos;

PC – keleiviniai automobiliai (angl. *Passenger Cars*);

LCV – lengvieji komercinės paskirties automobiliai iki 3,5 t. (angl. *Light Commercial Vehicles up to 3,5 t.*);

ITS – intelektinės transporto sistemos;

JIT – pačiu laiku (angl. *Just in Time*);

VGP – gamykla, kurioje gaminama vieno gamintojo produkcija;

KGP – gamykla, kurioje gaminama kelių gamintojų produkcija;

KGPB – gamykla, kurioje gaminama kelių gamintojų produkcija pagal prekinio ženklo inžinerijos koncepciją;

NGP – nepriklausoma gamykla, kurioje gaminama skirtingų gamintojų produkcija;

PSA – Peugeot ir Citroën automobilių gamintojų grupė;

GM – General Motors;

VW – Volkswagen;

RNO – Renault Nissan Organisation;

TPCA – Toyota Peugeot Citroën Automobile;

MUZ – mažo užterštumo zonos (angl. *Low Emission Zones*);

T_G – atstumai tarp gamyklų ir skirstymo centrų;

U_U – atstumai tarp uostų;

G_U – atstumas tarp gamyklų ir uostų;

T_U – atstumas tarp skirstymo centrų ir uostų;

AETR – Europos šalių susitarimas dėl kelių transporto priemonių ekipažų, važinėjančių tarptautiniais maršrutais, darbo;

KTR – kelių transportas;

GTR – geležinkelių transportas;

JTR – jūrų transportas.

Apibrėžimai

Skirstymo centras (angl. *Distribution Centre*) – tai produkcijos skirstymo mazgas, kurio funkcijos apima saugojimo, grupavimo, konsolidavimo, skirtingų transporto rūšių sąveikos procesus bei pridėtinę vertę kuriančias paslaugas. Priklausomai nuo geografinės situacijos ir atstumų nuo gamyklos iki tikslinės vartotojų rinkos, skirstymo centrai gali būti skirstomi į regioninius, nacionalinius ir vietinius. Atsižvelgiant į šalies teritorijos dydį esti vienas arba keli skirstymo mazgai. Automobilių skirstymo centrai dažniausiai yra dislokuoti netoli uostų, geležinkelių krovinių stočių ar automobilių gamyklų. Šie centrai sudaro priešpaskutinį tiekimo grandinės etapą, po kurio produkcija pasiekia galutinį vartotoją, tačiau esant poreikiui gali būti naudojami ir kaip tarpinis mazgas.

Skirstymo centro sistema (angl. *Hub and Spoke System*) – tai terminas, apibūdinantis keleivių ir krovinių vežimo organizavimą, naudojant vieną centrą. Pagal šią sistemą fizinis ar materialus srautas yra nukreipiamas į vieną mazgą, priskirtą konkrečiai tikslinei

zonai. Šios sistemos tikslas užtikrinti geresnį transporto priemonių pakrovimą ir tarpinių transporto operacijų trukmę.

Tarpinio mazgo sistema (angl. *Cross Dock System*) – tai sistema, kai keleiviai ar kroviniai paskirties vietą pasiekia per tarpinį mazgą. Ši sistema plačiai naudojama transporto planavimo procesuose, kai dėl tam tikrų infrastruktūrinių, geografinių, politinių ribojimų tiekimo sistemoje susiformuoja tam tikri trikdžiai ir reikia užtikrinti nepertraukiamą krovinių ar keleivių vežimą. Tarpinio mazgo panaudojimas skirstymo eigoje gali atlikti optimizavimo funkcijas fizinio ir materialaus srauto valdyme.

Prekinio ženklo inžinerija (angl. *Badge Engineering*). Šis terminas dažniausiai taikomas automobilių bei elektronikos pramonėje. Identiškas arba panašus inžinerinis produktas rinkoje pateikiamas skirtingais prekiniais ženklais. Esant didelėm projektavimo bei techninėm išlaidom kuriant visiškai naują modelį, daugeliu atvejų gamintojams yra efektyviau pateikti į rinką produktą su nežymiais išoriniais pakitimais, tačiau skirtingais prekiniais ženklais. Šios koncepcijos dėka kai kurie gamintojai minimaliomis investicijomis padidina savo produktų asortimentą.

Prekinio ženklo tiekimo tinklo inžinerija (angl. *Badge Supply Network Engineering*). Šis terminas apibrėžia vieningą pagamintos produkcijos skirstymo tinklą, kuriame skirtingi automobilių gamintojai sava produkcija aprūpina tikslines rinkas. Pagal šią koncepciją yra taikomos vienodos pakrovimo, transportavimo, iškrovimo bei sandėliavimo sąlygos. Skirstymo tinklą sudaro unifikuotas terminalų bei uostų tinklas. Šios koncepcijos dėka užtikrinamas transporto resursų pritraukimas prie gamintojų tiekimo arterijų, o integruotos skirtingos transporto rūšys dėl technologinio savitumo minimizuoja regioninį transporto srautų netolygumą, pakrovimo, tuščios ridos rodiklius bei pačių resursų paklausą.

Silpnai sujungiami transporto regionai (angl. *Badly Connected Transport Regions*) – tai terminas, kuris apibūdina tam tikras geografines vietas, kuriose dėl esamo krovinių srautų disbalanso negali būti užtikrintas efektyvus transporto priemonių pakrovimas bei galimybė surasti atgalinį krovinį. Šie regionai išsiskiria tuo, kad dėl anksčiau minėtų faktorių galimas produkcijos pristatymo vėlavimas bei didesni transportavimo kaštai, kurie turi padengti sąnaudas, tenkančias tuščiai ridai. Produkcijos skirstymo srautų modelyje šiuos regionus rekomenduojama išskirti, tam, kad juose būtų galima taikyti produkcijos transportavimo alternatyvas, kurios sumažintų neigiamus produkcijos pristatymo faktorius ir leistų efektyviau naudoti turimus transporto išteklius.

Gamyba pagal užsakymą (angl. *Build to Order*) – šis terminas apibrėžia gamybos procesų planavimą pagal gautus užsakymus iš klientų. Tam tikri produktai nėra pradedami gaminti iki tol, kol nėra gautas ir patvirtintas užsakymas. Ši koncepcija dažniausiai yra taikoma mažos paklausos produktams gaminti ir stipriai orientuota į individualų vartotoją.

Gamyba pagal prognozes (angl. *Build to Forecast*) – šis terminas apibrėžia gamybos procesų planavimą pagal numatomas produkcijos realizacijos apimtis. Produkcija yra pagaminama vadovaujantis sudarytomis realizavimo prognozėmis. Ši koncepcija yra taikoma masinei gamybai, o klientui prekės parduodamos iš jau pagamintų produktų sandėlio.

Turinys

IVADAS	1
Problemos formulavimas	1
Darbo aktualumas	2
Darbo objektas	3
Darbo tikslas	3
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodika	3
Darbo mokslinis naujumas	4
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	4
Ginamieji teiginiai	5
Darbo rezultatų aprobavimas	5
Disertacijos struktūra	6
Padėka (Acknowledgment)	6
 1. AUTOMOBILIŲ RINKOS ANALIZĖ IR PAGAMINTOS PRODUKCIJOS SKIRSTYMO METODŲ APŽVALGA	 9
1.1. Automobilų gamybos poreikio bei pagamintos produkcijos skirstymo strateginė reikšmė Europos Sąjungos mastu	9
1.2. Automobilų pramonėje taikomų produkcijos skirstymo metodų analizė	17
1.3. Pagamintų automobilių skirstymo sistemos ypatumų analizė	23
1.3.1. Produkcijos paklausos nustatymas	23
1.3.2. Pagamintos produkcijos paruošimas išvežimui iš gamyklos	25

1.3.3. Maršrutų planavimo ir specifinių transporto problemų sprendimams taikomi metodai	28
1.4. Pirmojo skyriaus išvados	33
2. AUTOMOBILIŲ GAMINTOJŲ TIEKIMO TINKLŲ MODELIAVIMAS	35
2.1. Logistinio bendradarbiavimo koncepcija	35
2.2. Europos automobilių gamintojų produkcijos paklausos nustatymas bei tikslinių rinkų analizė	39
2.3. Pakrovimo faktoriaus gamyklose nustatymas	44
2.4. Naujų automobilių tiekimo į skirstymo centrus ryšio nustatymo algoritmo sudarymas	48
2.5. Antrojo skyriaus išvados	54
3. PRODUKCIJOS SRAUTŲ IR TANSPORTO IŠTEKLIŲ VALDYMAS BENDRAME SKIRSTYMO TINKLE	57
3.1. Pirmojo naujų automobilių skirstymo varianto formuluotė	57
3.2. Produkcijos pasiūlos ir paklausos nustatymas laiko intervale	60
3.3. Transporto srautų jungimo algoritmo sudarymas	65
3.4. Pirmojo skirstymo varianto rezultatų apibendrinimas	70
3.5. Antrojo naujų automobilių skirstymo varianto formuluotė	74
3.6. Antrojo skirstymo varianto rezultatų apibendrinimas	81
3.7. Trečiojo skyriaus išvados	83
BENDROSIOS IŠVADOS	85
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI	87
AUTORIAUS PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS	95
PRIEDAI	97
A priedas. Geležinkelių transporto įmonių, vežančių automobilius, vadovų apklausos rezultatai	97
B priedas. Automobilių gamintojų logistikos skyrių vadovų apklausos apie likutinės produkcijos skirstymo problemą rezultatai	100
C priedas. Naujų automobilių gamyklų, skirstymo centrų bei uostų sąrašas ir žemėlapis	102
D priedas. Automobilių gamintojų, gamyklų vietų, grupių, surenkamų modelių tipų bei pagamintos produkcijos apimčių per metus duomenys	105
E priedas. Įvairių transporto rūšių pakrovimo faktoriaus reikšmės	107
F priedas. Silpnu transporto ryšiu pasižyminčių regionų žemėlapis	109
G priedas. Susistemintų ir apdorotų statistinių duomenų fragmentas	110

Contents

INTRODUCTION	1
The research problem	1
The relevance of the research	2
The object of the research	3
The aim of the work	3
The tasks of the work	3
Research methodology	3
The scientific novelty	4
The practical value	4
Defended statements	5
Approval of the results	5
The scope of the work	6
Paděka (Acknowledgment)	6
1. ANALYSIS OF AUTOMOTIVE MARKET AND REVIEW OF DISTRIBUTION METHODS OF FINISHED PRODUCTION	9
1.1. Strategic importance of automotive output demand and finished production supply EU-wide	9
1.2. Analysis of methods of production supply in automotive industry	17
1.3. Analysis of the peculiarities of finished vehicle distribution system .	23
1.3.1. Identification of output demand	23
1.3.2. Preparation of exports of finished vehicles from factory .	25

1.3.3. Methods used for route planning and solution of specific transport problems	28
1.4. Conclusions of Chapter 1.	33
2. MODELING OF SUPPLY NETWORKS OF CAR MANUFACTURERS.	35
2.1. Concept of logistics cooperation	35
2.2. Identification of production demand of European car manufacturers and selection of supply regions	39
2.3. Identification of loading factors in factories.....	44
2.4. Formation of algorithm establishing the connection of new vehicles supply to distribution centers.....	48
2.5. Conclusions of Chapter 2	54
3. PROBLEM SOLUTION OF PRODUCTION FLOWS AND TRANSPORT RESOURCE MANAGEMENT IN A UNIFIED SUPPLY NETWORK.....	57
3.1. Task formulation for the first supply option of new cars	57
3.2. Determination of supply and demand output in a time window	60
3.3. Formation of transport flow connection algorithm	65
3.4. Summary of results of the first supply option of new cars	70
3.5. Task formulaion for the second supply option of new cars.....	74
3.6. Summary of results of the second supply option of new cars	81
3.7. Conclusions of Chapter 3	83
GENERAL CONCLUSIONS	85
REFERENCES	87
LIST OF THE AUTHOR'S SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF DISSERTATION	95
ANNEXES	97
Annex A. Results of the survey of executives of rail transport companies which transports the vehicles.....	97
Annex B. Results of the survey of logistics managers of car manufacturers about distribution problems of residual production	100
Annex C. List and map of new car factories, distribution centers and ports	102
Annex D. Date of car manufacturers, location and groups of factories, types of assembled cars and annual production volume	105
Annex E. Values of load factor for different transport means	107
Annex F. Map of transport reagions with bad connections	109
Annex G. Fragment of systematized and processed statistical data	110

Ivadas

Problemos formulavimas

Didėjantis užterštumo ir triukšmo lygis, eismo spūstys bei avaringumas – tai klaidingų logistinių sprendimų rezultatas, neatsiejamas nuo mūsų kasdienybės. Statistiniai Eurostat duomenys byloja, jog didžiausia dalis krovinių Europoje yra vežama kelių transportu, tačiau tuščia jo rida sudaro apie 25 proc., o pakrovimo faktorius siekia vos 78 proc. Šie du rodikliai parodo, jog beveik pusė krovininio transporto parko yra naudojama neefektyviai. Krovinių skirstymas dėl itin didelės dinamikos yra sudėtingas, atsakomybės ir daug pastangų reikalaujantis procesas. Todėl individualaus gamintojo ar logistikos įmonės pastangos užtikrinti efektyvesnį transporto išteklių panaudojimą, skirstant pagamintą produkciją, šiandien negali būti įrankiu, leidžiančiu sumažinti neigiamą poveikį aplinkai makro lygiu. Daugeliu atvejų jungiamoji produkcijos skirstymo grandis tarp skirtingų automobilių gamintojų yra transporto paslaugų įmonės. Tačiau dėl neefektyvaus transporto srautų planavimo, pramonininkų konkurencijos ypatumų, regioninio krovinių disbalanso, nevienodų krovimo bei transportavimo reikalavimų susiformuoja kliūtys rasti atgalinį krovinį ir užtikrinti geresnį transporto priemonės pakrovimo faktorių.

Logistinis bendradarbiavimas – tai naujas iššūkis daugeliui pramonės šakų. Tačiau sėkmingam jo įgyvendinimui reikia surasti tinkamas priemones tam, kad

bendradarbiavimas netaptų vienpusiškai naudinga strategija pagerinti atskirų įmonių veiklos rodiklius. Šiam tikslui pasiekti siūloma koncepcija, skirta Europos automobilių pramonei, kur produkcijos tiekimo procesas būtų traktuojamas kaip atskira skirstymo sistema, neišskirianti skirtingų gamintojų logistinio savi-tumo.

Problemos sprendimui disertacijoje sudarytas naujų automobilių skirstymo tinklas Europoje, apimantis 83 automobilių gamyklas, 70 sausumos bei 24 jūrų terminalus ir nustatytos produkcijos importo ir eksporto jungtys. Įvertinti tieki-mo sistemos sutrikimus ir atlikti alternatyvių maršrutų paiešką, kas leistų užtik-rinti transporto priemonių naudojimo tęstinumą, sudarytas transporto srautų jun-gimo algoritmas.

Darbo aktualumas

Mažėjantys laisvos prekybos bei rinkų aprūpinimo suvaržymai transporto sekto-riui sudarė idealias sąlygas vystytis iki smarkiai išsibalansavusios sistemos su perpildytomis ir neigiamu poveikiu aplinkai pasižyminčiomis susisiekimo rūši-mis. Todėl alternatyvų paieška siūlant įvairius transporto projektus Europos Są-jungoje tapo neišvengiamu procesu, skatinančiu didesnę konkurenciją ir efekty-vesnį transporto išteklių valdymą. Tačiau šios idėjos, įgyvendintos didelių investicijų dėka, gali būti tik geros praktikos pavyzdžiais ir kelti abejones dėl savo tęstinumo. Daugelyje mokslinių publikacijų nagrinėjamos atskirų pramonės šakų produkcijos skirstymo problemos bei sukurti jų sprendimai yra hipotetiniai ir ne visada aišku, ar pateikti siūlymai atitinka aktualias konkrečios pramonės šakos problemas bei diskusijų objektą. Įvairūs sprendimai, skirti produkcijos srautų valdymui, kaip antai: skirstymo tinklo transformacijos, didesniu pakrovi-mo faktoriumi išsiskiriančių transporto rūšių integravimas, nuosavų transporto išteklių valdymas, ekologiškesnių sunkvežimių naudojimas yra susiję su mažes-nę taršą aplinkai darančiomis priemonėmis. Šių sprendimų efektyvumui pagrįsti daugelis automobilių gamintojų išskiria transportavimo atstumą, tenkantį vienam produkcijos vienetui. Efektyvesniam transporto resursų panaudojimui siūlomas atskirų gamintojų bendradarbiavimas, tačiau daugelis mokslininkų šią galimybę analizuoja teoriniu lygmeniu, neatskleidžiant strategijos vystymo gairių bei nu-matomų rezultatų patrauklumo „pariteto“ prasme. Suformavus atskiros pramo-nės šakos logistinio bendradarbiavimo koncepciją bei integravus atskirus gamin-tojus į bendrą produkcijos skirstymo tinklą galima formuoti sprendimus, skirtus efektyvesniam transporto išteklių bei infrastruktūros panaudojimui, kurie leistų mažinti neigiamus logistinės veiklos rodiklius.

Darbo objektas

Darbo objektas – skirstymo tinklas, jungiantis skirtingų automobilių gamintojų pagamintos produkcijos tiekimo kanalus Europoje.

Darbo tikslas

Šio darbo tikslas – sudaryti Europos automobilių gamintojų produkcijos skirstymo tinklą bei sukurti algoritmus, kuriais remiantis būtų nustatytos tiekimo jungtys ir užtikrintas krovinių transporto priemonių panaudojimo tęstinumas.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti suformuluoti šie uždaviniai:

1. Atlikti pagamintos produkcijos skirstymo metodų taikymo automobilių pramonėje analizę ir nustatyti svarbiausius skirstymo tinklo valdymo parametrus.
2. Sudaryti bendrą gamyklų, sausumos bei jūrų terminalų tinklą, nustatant ribinius gamybinio pajėgumo bei talpos dydžius ir sukurti algoritmą, kuriuo remiantis būtų nustatomos naujų automobilių tiekimo jungtys į tikslines rinkas.
3. Sudaryti skirstymo maršrutus, įvertinant atstumus tarp visų nustatytų infrastruktūrinių mazgų ir parengti transporto srautų jungimo algoritmą, skirtą mažinti neigiamus transporto veiklos rodiklius.
4. Sukurtų algoritmų ir logistinio bendradarbiavimo koncepcijos efektyvumui pagrįsti sudaryti du naujų automobilių skirstymo variantus, iš kurių pirmame visas produkcijos srautas būtų skirstomas kelių transportu, o antrame – kelių, geležinkelių bei jūrų transportu.

Tyrimų metodika

Analizuojant įvairių šaltinių duomenis buvo naudojami statistinių duomenų grupavimo ir apdorojimo metodai. Tyrimuose taikomi topologijos metodai, paremti Pienininko maršruto koncepcija, pritaikant Artimiausio kaimyno algoritmą. Eksperimentiniams ir skaitiniams tyrimams atlikti nustatyti pakrovimo ir transportavimo ribojimai, būdingi krovinių srautų ir transporto išteklių valdymo problemų

sprendimams. Tyrimų eigoje kai kurių ribinių reikšmių pagrindimui buvo apklausti ekspertai.

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją gauti šie transporto inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Sukurtas originalus naujų automobilių tiekimo į skirstymo centrus ryšio nustatymo algoritmas, skirtas maršrutų parinkimo uždavinių sprendimams, leidžia nustatyti atskiroje pramonės šakoje pagamintos produkcijos tiekimo jungtis į tikslines rinkas.
2. Sukurtas ir skaitiniu eksperimentu patikrintas transporto srautų jungimo algoritmas leidžia nustatyti tiekimo sistemos sutrikimus, atlikti alternatyvių maršrutų paiešką, sumažinti krovininių transporto priemonių tuščią ridą bei užtikrinti reišų tęstinumą.
3. Disertacijoje pasiūlyta skirtingų automobilių gamintojų logistinio bendradarbiavimo koncepcija parodė, jog neišskiriant kiekvieno gamintojo produkcijos tiekimo savitumo galima nustatyti bendros tiekimo sistemos vertinimo parametrus ir efektyviau naudoti transporto išteklius.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

1. Atsižvelgiant į gamybos bei realizavimo apimtis ir joms būdingą sezoniskumo faktorių buvo sukurtas naujų automobilių tiekimo į skirstymo centrus ryšio nustatymo algoritmas, kurio pritaikomumas pagrįstas skirstant 9,5 mln. automobilių, todėl šio algoritmo taikymas formuojant skirstymo tinklus, įvertinant atsargų nuokrypius bei iš anksto planuojant reikalingų transporto išteklių kiekį gali būti naudojamas skirtingose pramonės šakose.
2. Atlikti skaitiniai eksperimentai atskleidė sudaryto skirstymo tinklo sutrikimus, o optimizavimo uždavinio sprendimas parodė 6 proc. geresnį transporto srautų jungimo santykį bei 42 proc. mažesnę vežimo atstumą, tenkantį vienam produkcijos vienetui.
3. Didesniu pakrovimo faktoriumi išsiskiriančių transporto rūšių (geležinkelio ir jūrų) integravimas į naujų automobilių skirstymo tinklą 46 proc. leido sumažinti susikaupusių krovinių kiekį gamyklose ir 62 proc. sumažinti vežimų, kurie neturėjo tęstinumo nukreipiant kelių transporto priemones alternatyviais maršrutais.

Ginamieji teiginiai

1. Mažesnio gamybinio pajėgumo gamykloms pritaikius vienodas produkcijos skirstymo sąlygas krovinių srautas į tikslines rinkas adresuojamas į stipresnį traukimo koeficientą turintį skirstymo centrą, tai leidžia nustatyti kuriose aprėpties zonose gali susiformuoti regioninis automobilių deficitas ir tarpinių operacijų poreikis.
2. Pritaikius sukurtą transporto srautų jungimo algoritmą skirtingomis naujų automobilių skirstymo sąlygomis, galima nustatyti tiekimo sistemos sutrikimų priežastį ir parinkti alternatyvų sprendimo metodą.
3. Panaudojus alternatyvias transporto rūšis galima sumažinti tiekimo sistemos sutrikimus ir krovinių srautų deficitą net jei atstumas nuo gamyklos iki produkcijos paklausos vietų, lyginant su kelių transportu, yra kelis kartus didesnis.

Darbo rezultatų apibavimas

Disertacijos tema yra atspausdinti 6 moksliniai straipsniai: 2 – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į „ISI Web of Science“ duomenų bazę; 1 – mokslo leidinyje, įtraukame į „ISI Proceedings“ sąrašą; 3 – recenzuojamoje Lietuvos tarptautinių konferencijų medžiagoje.

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti keturioje mokslinėse konferencijose:

- Jaunųjų mokslininkų konferencijose „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“ 2012 m. Vilniuje (2);
- Tarptautinėje konferencijoje „*Transbaltica*“ 2011 m. Vilniuje (1);
- Tarptautinėje konferencijoje „*Environmental Engineering*“ 2011 m. Vilniuje (1).

Disertacijos tyrimai ir gauti rezultatai pristatyti:

- Klaipėdos universiteto, Informatikos inžinerijos katedros akademinei bendruomenei (2011 m.);
- Ciuricho federalinio technologijos universiteto ETH, Eismo planavimo ir transporto sistemų instituto akademinei bendruomenei (2012, 2013 m.);
- Vokietijos FH Erfurto universiteto, Transporto ir erdvinio planavimo instituto akademinei bendruomenei (2013 m.);
- Transporto bei logistikos įmonių GEFCO, ARS Altmann, BLG Autorail atstovams (2010, 2011, 2012 m.);

- Automobilių gamintojų FIAT, VOLVO, ŠKODA, NISSAN, logistikos skyrių specialistams (2012, 2013 m.).

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, trys skyriai, bendrosios išvados, literatūros sąrašas, publikacijų disertacijos tema sąrašas ir septyni priedai.

Darbo apimtis yra 98 puslapiai, tekste panaudota 30 numeruotų formulių, 24 paveikslai ir 5 lentelės. Rašant disertaciją buvo panaudotas 91 literatūros šaltinis.

Padėka (Acknowledgment)

Prie šios disertacijos rengimo prisidėjo daug transporto ir logistikos srities specialistų, mokslininkų, konsultantų Lietuvoje ir užsienyje. Nuoširdžiai dėkoju:

- Transporto ir logistikos įmonei „GEFCO Österreich GmbH“ bei jos vadovui Gijomui Šavanai (Guillaume Chavanat) už galimybę iš arčiau susipažinti su automobilių pramone, logistikos bei transporto procesais viename pasaulyje.
- Ciuricho federalinio technologijų universiteto ETH, Eismo planavimo ir transporto sistemų instituto (vok. *Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme*) direktoriui prof. dr. Ulrichui Vaidmanui (Ulrich Weidmann) už įkvėpimą, naujas idėjas, kritinį požiūrį ir suteiktas puikias galimybes atlikti mokslinius tyrimus.
- Vokietijos FH Erfurto universiteto, Transporto ir erdvinio planavimo instituto (vok. *Institut Verkehr und Raum der Fachhochschule Erfurt*) prof. dr. Florijanui Hainicui (Florian Heinitz) už motyvaciją ir palaikymą paskutiniame disertacijos rašymo etape bei organizacinę pagalbą rengiant viešą tyrimo rezultatų pristatymą FH Erfurto universiteto akademinei bendruomenei.
- Įmonės GEFCO multimodalinės logistikos skyriaus direktoriui Ralfui Čarliui Šulcui (Ralf-Charley Schultze) bei BLG Autorail įmonės direktoriui Geraldui Binzui (Gerald Binz) už vertingus patarimus ir konsultacinę pagalbą projektuojant geležinkelių transporto srautus.
- Įmonių FIAT, FORD, ŠKODA, VOLVO, NISSAN, ARS Altmann ir asociacijos ACEA atstovams už brangų laiką, skirtą susipažinti su atliekamais tyrimais, praktines įžvalgas, pastabas bei reikalingą informaciją.

Ypatingą padėką norėčiau pareikšti artimiesiems, kolegoms ir draugams už supratimą ir palaikymą, vadovui bei recenzentams už konstruktyvias pastabas,

Jadvygai ir Sigitui Kuršeliams už rūpestį ir nuostabias akimirkas stažuotės metu Austrijoje.

A number of transport and logistics specialists, researchers and consultants in Lithuania and abroad contributed to the preparation of the dissertation. I would like to convey my sincerest gratitude to:

- Transport and logistics company GEFCO Österreich GmbH and CEO Mr. Guillaume Chavanat for an opportunity take a closer look at the automotive industry, logistics and transport processes across the globe;
- Professor Dr. Ulrich Weidmann, director of Transport Planning and Systems Institute of ETH Zurich for inspiration, new ideas, critical attitude and excellent opportunities for research at ETH Zurich;
- Professor Dr. Florian Heinitz of Transport and Spatial Planning Institute of FH Erfurt University for motivation and support in the final phase of the dissertation and organizational assistance in the preparation of the public presentation of research results to the academic community of FH Erfurt University;
- Ralf-Charley Schultze, director of GEFCO Multimodal Logistics Division, and BLG Autorail CEO Gerald Binz for their valuable advice and consultations in the design of railway transport flows;
- Representatives of companies FIAT, FORD, ŠKODA, VOLVO, NISSAN, ARS Altmann and ACEA association for their time to get acquainted with my research, practical insights, remarks and necessary information.

My special thanks goes to my family, colleagues and friends for their understanding and support, supervisor and reviewers for their constructive remarks, Mrs. Jadvyga and Mr. Sigitas Kuršeliai for their care and wonderful moments during my internships in Austria.

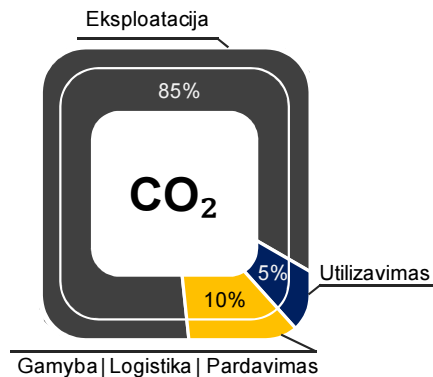
Automobilių rinkos analizė ir pagamintos produkcijos skirstymo metodų apžvalga

Skyriuje pateikiama Europos Sąjungoje automobilių pramonės raidą nulėmusių veiksnių analizė. Ištirti įvairių automobilių gamintojų produkcijos skirstymui taikomi sprendimai bei pateikiami geros praktikos pavyzdžiai. Skyriuje taip pat pristatoma pagamintų automobilių skirstymo sistema bei mokslinės literatūros analizė, skirta specifinių transporto problemų sprendimui.

1.1. Automobilių gamybos poreikio bei pagamintos produkcijos skirstymo strateginė reikšmė Europos Sąjungos mastu

Europos regione daugiausiai gaminama automobilių, kiekvienais metais čia pagaminama apie 33 proc. visų pasaulio automobilių (ACEA 2012). Didėjant pragyvenimo lygiui ir žmonių mobilumo poreikiui, automobilis tampa ne tik prabangos preke, bet ir neatsiejamu kasdienybės įrankiu (Keršys 2011). Tačiau nereiktų pamiršti, jog augančių poreikių sąskaita daroma ypatingai didelė žala

gamtai. Automobiliai aplinkai daro įtaką visuose savo buvimo etapuose: nuo žaliavų gavybos iki gamybos, nuo eksploatavimo iki perdirbimo ir sunaikinimo. Visi šie procesai siejami su klimato kaita, gamtinių išteklių eikvojimu, rūgštiniais lietumis bei miesto oro tarša. Daugelio mokslinių tyrimų dėka buvo nustatyta, jog automobilio gyvavimo cikle 85 proc. išmetamųjų dujų kiekį sudaro automobilio eksploatacijos periodas, 10 proc. gamyba, logistika, pardavimas ir 5 proc. utilizavimas bei perdirbimas (SMMT 2009) (1.1 pav.).

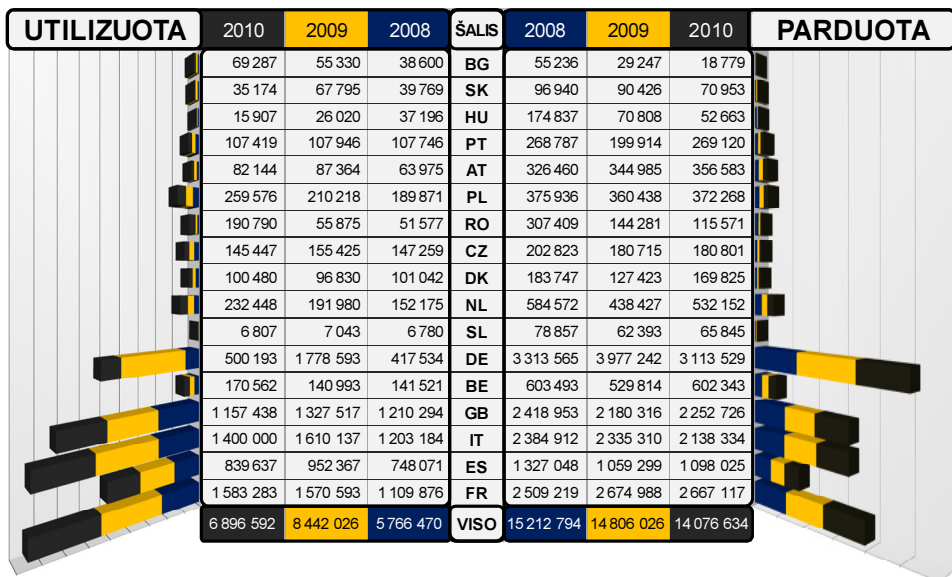


1.1 pav. CO₂ dujų išsiskyrimas automobilio buvimo etapuose, %
Fig. 1.1. CO₂ emissions through the vehicle life cycle, %

Europos lengvųjų automobilių parkas jau perkopė 245 mln. ribą ir kaip rodo statistinių duomenų prognozės stabilizavimo požymių nesimato. Per pastaruosius penkerius metus parkas paaugo 6 proc., tačiau vis dar išlieka senėjimo tendencija, ir šiuo metu vidutinis Europoje eksploatuojamo automobilio amžius yra 8,3 metai (ACEA 2012). Šie rezultatai atskleidė, jog Europos Sąjunga neišvengiamai turi imtis priemonių, skatinančių atnaujinti esamą parką mažesne tarša ir didesniu saugumu pasižyminčiais automobiliais bei sumažinti netinkamų eksploatuoti transporto priemonių skaičių. Šių priemonių kūrimą ir įgyvendinimą paspartino 2009 m. ekonominės recesijos metu ženkliai sumažėjusi automobilių paklausa bei kritusios gamybos apimtys. Nepaisant gamintojų pastangų išsaugoti darbo vietas, sutrumpinant darbo laiką, Europoje buvo uždarytos net kelios didelės gamyklos, kurių metinis gamybos pajėgumas siekė 300 000 automobilių. Dėl to daugelis žmonių prarado darbo vietas. Automobilių pramonėje ir su ja susijusiuose sektoriuose 2009 m. Europoje dirbo apie 11,6 mln. žmonių. Lyginant su 2007 m. šis sektorius neteko 1 mln. darbuotojų (ACEA 2010; ACEA 2012). Dėl šios priežasties didžiosios Vakarų Europos valstybės automobilių rinkos gaivinimui inicijavo subsidijų skyrimą įsigyjant naujus, utilizuojant senesnius nei 9 metų automobilius. Į šį procesą įsitraukė ne tik valstybės, skirdamos už sunai-

kintą automobilį nuo 1 000 iki 2 500 eurų kompensaciją, bet ir automobilių gamintojai savo produkcijai suteikdami panašaus dydžio nuolaidą. Dėl to tam tikro modelio automobilis buvo įsigyjamas už 15–40 proc. mažesnę kainą. Vokietijoje ši programa davė didžiausią efektą. Automobilių pardavimai šioje šalyje išaugo apie 17 proc., o utilizuota net keturis kartus daugiau nei 2008 m. Deja, bet prognozės, jog šios priemonės tik laikinas efekto sukūrimas be inercijos, pasiteisino ir jau 2010 m. pardavimo apimtys Vokietijoje nukrito apie 21 proc., o utilizuotų automobilių skaičius grįžo į 2008 m. lygį (ACEA 2011; Eurostat).

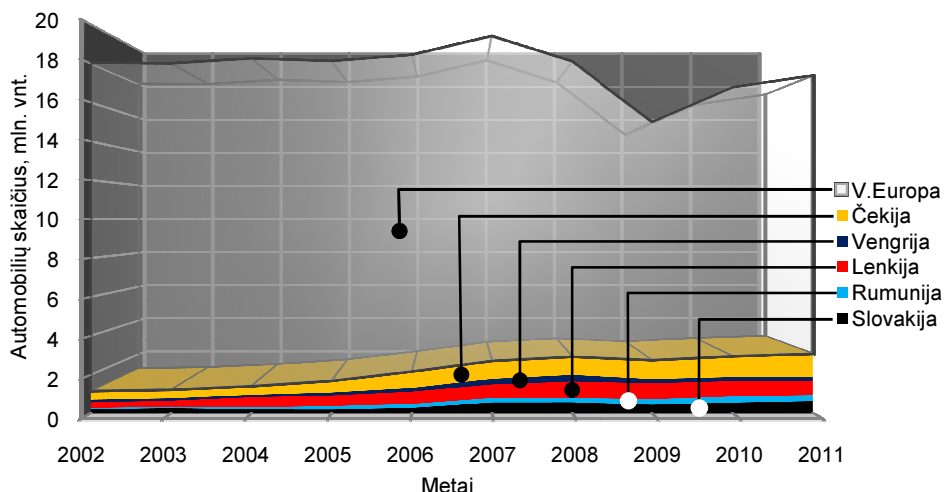
Europos Parlamento ir Tarybos sprendimu 2000 m. buvo priimta direktyva 75/442/EEB dėl eksploatuoti netinkamų transporto priemonių, kurios pagrindinis uždavinys – sumažinti šių transporto priemonių poveikį aplinkai ir prisidėti prie aplinkos kokybės apsaugos gerinimo bei energijos taupymo. Šios direktyvos įgyvendinimas didžiausią pagreitį įgavo tada, kai nacionaliniu lygmeniu tam tikros Europos šalys identifikavo automobilių pramonės strateginę svarbą ir inicijavo projektus, skirtus automobilių parko atnaujinimui. Remiantis Eurostat ir ACEA statistiniais duomenimis, pastebima, jog šalyse, kuriose buvo ir yra taikomos tokio pobūdžio programos, utilizuotų ir parduodamų automobilių rodikliai ženkliai išauga, tačiau vien tik ši programa neturi inertiškumo (1.2 pav.).



1.2 pav. Europos šalyse parduotų ir utilizuotų lengvųjų automobilių pokytis 2008–2010 metais

Fig. 1.2. Changes of sold and recycled vehicles in European countries in 2008–2010

Analizuojant chronologinę automobilių pramonės įvykių seką Europoje pastebima, jog plečiantis Europos Sąjungos geografijai per pastarąjį dešimtmetį atsirado nemažai naujų, didelio gamybinio pajėgumo, gamyklų Rytų Europoje. Didėjant produkcijos paklausai ir brangstant ištekliams, daugelis gamintojų siekė padidinti gamybos apimtį ir tuo pačiu mažinti savo kaštus. Šiam tikslui įgyvendinti patraukliausiai atrodė naujosios Europos Sąjungos šalys, kur darbo jėgos valandinis tarifas yra apie 70 proc. mažesnis nei Vakarų valstybėse (Eurostat). Sudarytos palankios investavimo sąlygos bei anksčiau minėtas motyvas paskatino gamyklų tinklo plėtrą Rytų regione (Sanz *et al.* 2007).



1.3 pav. Pagamintų automobilių Rytų Europoje dinamika 2002–2011 m.
Fig. 1.3. Dynamics of manufactured vehicles in Eastern Europe in 2002–2011

2005 m. PSA koncernas atidarė naują gamyklą Kolino mieste, Čekijoje, prie kurios 2007 m. prisijungė Toyota ir kartu pradėjo gaminti serijinius automobilius, taikydamos prekinio ženklo inžinerijos koncepciją (angl. *Badge Engineering*). 2006 m. pradėjo veikti dar viena PSA gamykla Tarnavos mieste, Slovakijoje. Dėl tam tikrų produkcijos importo ribojimų į Europą ir pastangų sustiprinti savo pozicijas šiame žemyne, kitais metais atsirado pirmoji Pietų Korėjos gamintojo KIA gamykla Žilinos mieste, Slovakijoje. Tais pačiais metais General Motors koncernas Varšuvos mieste, Lenkijoje, esančioje automobilių gamykloje pradeda surinkti Chevrolet markės automobilius, lygiagrečiai FIAT pradeda gamybą Suzuki gamykloje Estergomo mieste, Vengrijoje. 2008 m. Nošovice mieste, Čekijoje, įkuriama nauja Hyundai gamykla. 2009 m. FIAT gamykloje Tychi mieste, Lenkijoje, pradedami surinkinėti Ford markės automobiliai. Pastarasis

gamintojas plėsdamas savo gamybos tinklą Rytų Europoje 2010 m. Krajosvos mieste, Rumunijoje, atidarė naują gamyklą (OICA 2012). Vadovaujantis OICA duomenimis, nuo 2003 m. iki 2006 m. automobilių gamybos apimtys naujose Europos Sąjungos šalyse tokiose, kaip Lenkija, Slovakija, Čekija, Vengrija ir Rumunija, išaugo dvigubai ir sudarė 12 proc. visų Europoje pagamintų automobilių, o 2008 m. šis rodiklis pasiekė 19 proc. (1.3 pav.).

Itin didelė automobilių paklausa Europoje ir pasaulyje reikalauja ne tik technologinių inovacijų vystymosi, bet ir naujų sprendimų, padedančių užtikrinti saugų bei sklandų rinkų aprūpinimą. Viena opiausių šių dienų problemų yra per didelis kelių apkrovimas ir eismo intensyvumas. Kelių tinklo atlaisvinimo uždavinys sprendžiamas mažinant krovininio kelių transporto srautus, perkeltiant juos geležinkelių ar jūrų transportui. Europos Komisijos inicijuoti projektai, gerinantys kelių tinklo pralaidumą, plečiant transeuropinį kelių tinklą TEN-T ir intermodalinio transporto skatinimo programa Marco Polo, jūrų greitkelių (angl. *Motoways of the sea*), geležinkelių bei vidaus vandens plėtros projektai yra būtini, siekiant sumažinti spūstis, užterštumo bei avaringumo lygį keliuose. Tačiau šie projektai yra tik dalis įvairiausių priemonių, leidžiančių pasiekti anksčiau minėtus tikslus (Vasilis Vasiliauskas *et. al.* 2010). Išanalizavus vykdomus ir ruošiamus įgyvendinti projektus pagal Marco Polo programą, pastebimas didelis automobilių logistikos sektoriaus aktyvumas kuriant naujus bei atnaujinant jau esamus maršrutus geležinkelių bei jūrų transportu. 1.1 lentelėje yra pateikti automobilių logistikos sektoriuje įgyvendinti projektai pagal šią programą.

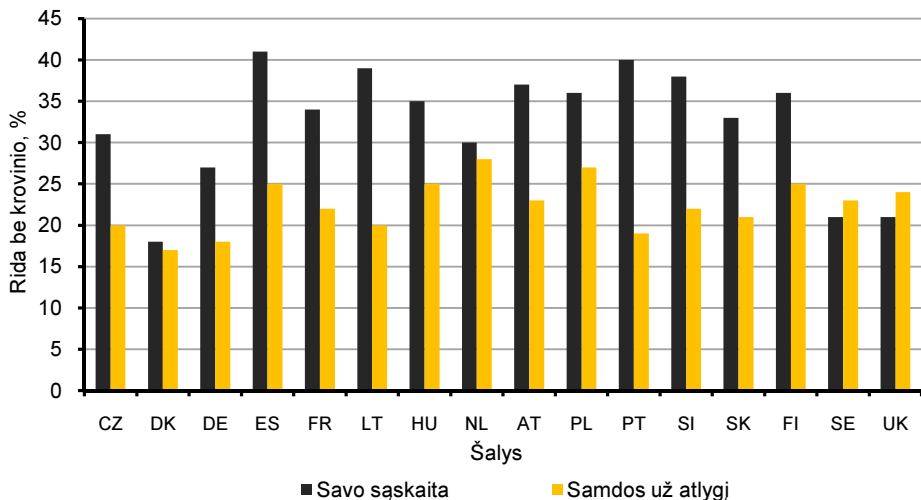
Europos Sąjungos vykdoma politika – mažinti suvaržymus laisvam prekių judėjimui. Tokios priemonės, kaip bendros Šengeno erdvės sukūrimas bei kabotažinių vežimų apribojimų sumažinimas (naujosios ES šalims narėms nuo 2011.05.01), supaprastina krovinių vežimą kelių transportu (Vilkelis 2012). Tačiau siekiant užtikrinti darnią krovininio transporto sistemų sąveiką, būtina atsižvelgti į tai, jog anksčiau minėtos priemonės sukuria dar didesnę patrauklumą kelių transportui, o ne kitoms transporto rūšims, kurios tampa mažiau patrauklios dėl sudėtingesnio vežimų technologinio proceso. Be to, nevaržomai didėjanti kelių transporto konkurencija savaime formuoja krovinių deficitą pažeisdama importo ir eksporto krovinių balansą. Dėl šios priežasties susidaro prastovų, nepilno pakrovimo bei tuščios ridos faktoriai, kas sudaro bendruosius nuostolius (veiklos, energetinius, aplinkosauginius ir kt.). Viena didžiausių šių dienų problemų, su kuria susiduria logistikos sektorius, yra neefektyvus transporto resursų panaudojimas. Remiantis Eurostat duomenimis, Europoje kelių transporto tuščia rida vidutiniškai sudaro apie 25 proc. (1.4. pav.). Šis faktorius priklauso nuo neefektyvios skirstymo tinklų strategijos, nepatikimai sudaromo vežimų grafiko, transporto priemonių svorio ir matmenų ribojimų, pasiūlos svyravimų, produkcijos vežimo pagal pačiu laiku (angl. *Just in Time*) koncepciją, kabotažo ribojimų, neproporcingo krovinių srauto balanso bei daugelio kitų veiksnių.

1.1 lentelė. Automobilių transportavimui skirti projektai pagal Marco Polo programą, 2004–2011 metais

Table 1.1. Vehicle transportation projects under the Marco Polo program in 2004–2011

Metai	Įmonė	Projektas	Aprašymas
2011	BLG AutoRail GmbH	SIWALOC	Automobilių transportavimas pavieniais vagonais tarp Vokietijos, Čekijos, Austrijos, Slovakijos, Vengrijos, Rumunijos ir Slovenijos.
2011	Arcese Transporti S.p.A.	AIT	Geležinkelių transporto maršrutas Novara (IT) – Kelnas (DE), skirtas automobilių ir kt. krovinų transportavimui.
2010	Hödlmayr International AG	East-West Hödi	Geležinkelių transporto maršrutas Piteštis (RO) – Tongerenas (BE), skirtas automobilių transportavimui.
2010	GEFCO SA	TESS'10	Geležinkelių transporto maršrutas Vesūlas (FR) – Kalūga (RU), skirtas detalių, naujų automobilių gamybai, transportavimui.
2010	Mosolf Automotive Railway GmbH	OPRA	Automobilių transportavimas sublokuotais traukiniais maršrutais tarp Lenkijos ir Belgijos.
2010	Wenzel Logistics GmbH	WETRI	Šaudyklinio traukinio maršrutas Gracas (AT) – Neusas (DE), skirtas automobilių ir kt. krovinų transportavimui.
2010	Arcese Trasporti S.p.A.	Trentino Shuttle	Šaudyklinio traukinio maršrutas per Alpių regioną iš Kelno (DE) į Trentą (IT), skirtas automobilių ir kt. krovinų transportavimui.
2009	Koopman InterRail B.V.	Euro Car Shuttle	Šaudyklinio traukinio maršrutai tarp Amsterdamo (NL), Strasvalcheno (AT), Budaors (HU), Borno (NL), taip pat tarp Graco (AT) ir Neuso (DE), skirti automobilių transportavimui.
2008	STVA	AUTOROM	Geležinkelių transporto maršrutas Piteštis (RO) – Valentonas (FR), skirtas automobilių transportavimui.
2008	Vega International	CARES	Geležinkelių transporto maršrutai tarp Bukarešto (RO), Suzaros (IT) ir Veronos (IT), taip pat tarp Kurtici (RO) ir Kosekoi (TR), skirti automobilių transportavimui.
2008	Hödlmayr International AG	HÖDI	Šaudyklinio traukinio maršrutas Neusas (DE) – Švertbergas (AT), skirtas automobilių transportavimui.
2008	Luka Koper	KOBALT	Trumpųjų nuotolių laivybos maršrutas Koperis (SL) – Barselona (ES), skirtas automobilių transportavimui.
2008	Magna Steyr AG	KOTCAR	Trumpųjų nuotolių laivybos maršrutas Antverpenas (BE), Hamburgas (DE), Bremerhavenas (DE) – Kotka (FI), skirtas detalių, naujų automobilių gamybai, transportavimui.
2008	Arcese Trasporti S.p.A.	TOVAL	Geležinkelių transporto maršrutas Torino (IT) – Valadolidas (ES), skirtas automobilių transportavimui.
2008	Schenker Automotive RailNet	Viking Rail	Geležinkelių transporto maršrutas Hanoveris (DE) – Goteborgas (SE), skirtas automobilių transportavimui.
2004	Fiat Auto Poland	IT-POL-IT NET	Geležinkelių transporto maršrutas Šiaurės Vakarų Italija – Pietų Lenkija, skirtas automobilių transportavimui.

Manoma, jog gamintojams ar logistikos paslaugų operatoriams geriau suprasti transporto veiklos nuostolius, užtikrinti maksimalų pakrovimo faktorių bei sumažinti vežimo ridą, leistų krovinių vežimo savo sąskaita forma. Tačiau atlikus tyrimą, pastebėta, jog ši priemonė dėl tam tikrų ribojimų transportuoti kitų įmonių krovinius nėra efektyvi mažinant tuščios ridos faktorių, ypač tais atvejais, kai produkcija skirstoma tarptautiniais maršrutais (Vilkelis 2011). Vis dėl to kai kuriose Europos valstybėse, pavyzdžiui, Didžiojoje Britanijoje, dėl ypatingai didelio logistikos įmonių konkurencingumo, krovinių vežimo savo sąskaita efektyvumas mažai skiriasi nuo vežimų samdos už atlygį pagrindais (1.4 pav.) (McKinnon 2010).



1.4 pav. Procentinis tuščios kelių transporto ridos pasiskirstymas pagal vežimo pagrindą 2010 m.

Fig. 1.4. Percentage share of empty vehicle kilometres by type of transport, 2010

Automobilių keliais dabar vežama 44 proc. visų ES krovinių, trumpaisiais jūrų laivybos maršrutais – 39 proc., geležinkeliais – 10 proc., vidaus vandenų keliais – 3 proc. (Eurostat). Transporto rūšys, kuriomis vienu metu transportuojamas itin didelis kiekis krovinių, kaip jūrų ar geležinkelių transportas, nėra pakankamai integruotas į krovinių srautų skirstymo infrastruktūrą. Todėl siekiant optimizuoti logistinių grandinių veiklą, efektyvesniu išteklių naudojimu pasižyminčiomis transporto rūšimis, vienas naujausių ES transporto politikos tikslų yra iki 2030 m. pasiekti, jog 30 proc. daugiau kaip 300 km keliais vežamų krovinių

būtų gabenami kitų rūšių transportu – geležinkelių ar vandens, o iki 2050 m. šis skaičius turėtų viršyti 50 proc. (Baltoji knyga 2011).

Vertinant Europos krovinių vežimo veiklos efektyvumą mikro ar makro lygiu, dažniausiai susiduriama su oficialių duomenų stygiumi bei statistinės informacijos nepatikimumu. Remiantis atskirų šalių statistikos departamentų ar Eurostat pateiktais duomenimis, nėra galimybių tinkamai įvertinti ir palyginti skirtingų transporto rūšių veiksmingumą pagal pakrovimo, tuščios ridos ar energijos suvartojimo rodiklius, kadangi pasigendama detalesnės informacijos apie vežamų krovinių efektyvumą geležinkelių ar vidaus vandenų transportu. Tai itin opi problema, atsižvelgiant į atskirų valstybių bei ES vedamą politiką sumažinti krovinio kelių transporto dominavimą kitų transporto rūšių atžvilgiu. Būtina atkreipti dėmesį, jog kai kurie Eurostat duomenys gerokai skiriasi nuo atskiros ES šalyse publikuojamų statistinių duomenų, o tai verčia abejoti pateiktų duomenų tikslumu. Kaip antai Didžiojoje Britanijoje kelių transporto tuščios ridos faktorius, anot Eurostat yra 22 proc., o šios šalies statistikos departamentas pateikia 27 proc. (McKinnon 2010). Šį skirtumą, gali lemti skirtingos duomenų skaičiavimo metodikos bei tam tikri terminų traktavimo neatitikimai. Todėl siekiant statistinių duomenų, kuriais remiantis būtų galima objektyviai vertinti skirtingų transporto rūšių veiklą, tikslingumo, būtina taikyti vieningą skaičiavimo metodiką bei tiksliai apibrėžti sąvokas.

Europos automobilių parko augimas nesudaro prielaidų, jog ateityje formuosis didesnis gamybos poreikis, tai įrodo 2009 m. ekonominės recesijos metu ženkliai nukritusios pardavimo apimtys, kurios byloja, jog automobilis išlieka prabangos, o ne pirmo būtinumo preke. Tačiau siekiant išsaugoti dominuojančią automobilių pramonės poziciją pasaulyje, Europos gamintojai turėtų pasekti Japonijos pavyzdžiu: šioje šalyje pagaminta produkcija daugelyje pasaulio žemynų užima didžiausią importuojamų automobilių dalį.

Mažėjantys laisvos prekybos bei rinkų aprūpinimo suvaržymai transporto sektoriui sudarė idealias sąlygas vystytis iki smarkiai išsibalansavusios sistemos su perpildytomis ir neigiamu poveikiu aplinkai pasižyminčiomis susisiekimo rūšimis. Todėl alternatyvų paieška inicijuojant įvairius transporto projektus Europos Sąjungoje tapo neišvengiamu procesu, skatinančiu didesnę konkurenciją ir efektyvesnę transporto išteklių valdymą (Micevičienė *et al.* 2009). Tačiau šios idėjos, įgyvendintos didelių investicijų dėka, gali būti tik geros praktikos pavyzdžiais ir kelti abejones dėl savo tęstinumo. Disertacijoje formuojama prielaida, jog darniam transporto sistemų funkcionavimui būtinas atskirų pramonės šakų indėlis. Šiai prielaidai pagrįsti 1.2 poskyryje analizuojama automobilių pramonėje taikomi atskirų gamintojų produkcijos skirstymo metodai, įgyvendinti projektai bei strateginės kryptys, skirtos neigiamų logistinės veiklos rodiklių mažinimui.

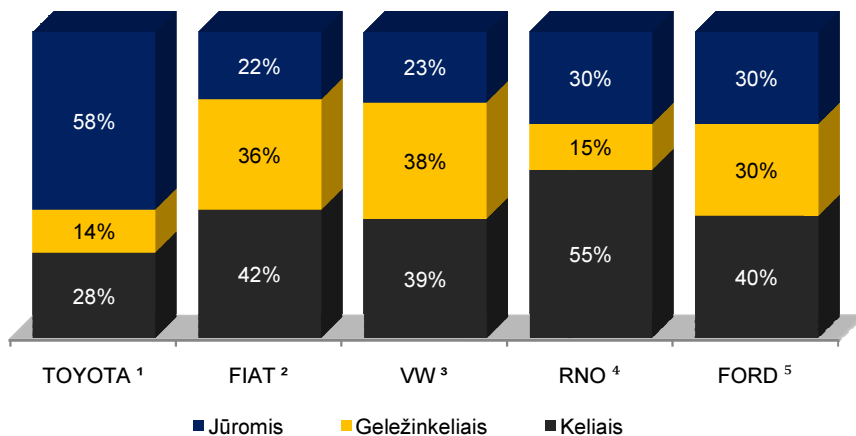
1.2. Automobilių pramonėje taikomų produkcijos skirstymo metodų analizė

Daugelio mokslinių publikacijų medžiagoje nagrinėjamos atskirų pramonės šakų produkcijos skirstymo problemos bei joms sukurti sprendimai yra hipotetiniai ir ne visada aišku, ar pateikti siūlymai atitinka aktualias, konkrečios industrijos problemas bei diskusijų objektą. Todėl formuluojamas sprendimas, skirtas automobilių pramonei, turi būti paremtas esamos situacijos analize, kuri išryškintų skirtingų gamintojų logistinės veiklos pasiekimus, strategijas ir ateities tendencijas.

Hahn *et al.* (2009) atlikti tyrimai atskleidė, jog įmonių konkurencinį pranašumą lemia ne vien tik finansinių išteklių, bet ir efektyvus aplinką tausojančių, resursų panaudojimas. Todėl daugelis automobilių gamintojų apibendrinami savo metinės veiklos rezultatus pateikia ne tik finansines, bet ir tvarumo ataskaitas (angl. *Sustainable Report*), kuriose išskiriamas įmonių struktūrinių padalinių aplinkosauginių rodiklių vertinimas. Tačiau pastebima, jog dėl neatskleistų priežasčių kai kurie pasauliniai automobilių gamintojai savo pasiekimus išskiria tik pagal tam tikrą regioną. Kaip pavyzdį galima išskirti Japonijos gamintojus, apie kurių veiklą galima gauti nemažai informacijos iš viešai pateiktų su pramonės veikla toje šalyje susijusių dokumentų. Tačiau retai kada pavyksta nustatyti, ar tas pats gamintojas sugeba pasiekti vienodų rezultatų visuose regionuose, kur yra gaminama jo produkcija. Dėl šios priežasties galima daryti prielaidą, jog duomenų pateikimas galimai susijęs su rezultatais, nes šios ataskaitos iš dalies atspindi gamintojo įvaizdį, siekiant pabrėžti išskirtinumą, dažniausiai aprašomi eksperimentai, investicijos į naujausias technologijas bei geros praktikos pavyzdžiai, sukūrę didžiausią pridėtinę vertę.

Remiantis įvairių šaltinių bei atskirų automobilių koncernų pateikta informacija, autorius sudarė skirtingų automobilių gamintojų pagamintos produkcijos skirstymo pagal transporto rūšis Europoje diagramą (1.5 pav.). Pastebima, jog Europos gamintojai (VW, Ford ir FIAT) daugiausia naudoja kelių bei geležinkelio transportą, tuo tarpu Toyota, kuri automobilius gamina ne tik Europoje, bet ir kituose kontinentuose, ženkliai iš kitų išsiskiria jūrų transporto apimtimis.

Kadangi Japonijos automobilių gamintojų pardavimai Europoje sudaro apie 14 proc. visos rinkos bei didžiausią dalį naujų automobilių importo, šios šalies gamintojų produkcijos skirstymo metodams buvo skiriamas didesnis dėmesys.



1.5 pav. Skirtingų automobilių gamintojų produkcijos skirstymas pagal transporto rūšis Europoje (išreikšta procentais, skaičiuojant atstumą nuo gamyklų)

Fig. 1.5. European outbound modal split by different automotive manufacturers (% in terms of kilometres from plants)

Vienas iš šios šalies gamintojų, Nissan koncernas, savo 2009 m. tvarumo ataskaitoje akcentuoja, jog transporto efektyvumas yra vienas svarbiausių veiksnių, siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai. Optimizavimo strategija koncentruojama į transporto priemonių pakrovimo faktoriaus didinimą bei multimodalumą, perkeliant krovinių srautus į geležinkelio ir jūrų transportą, kuris į aplinką išskiria mažiau CO₂ dujų. Abu šie veiksniai yra skirti maksimaliai išnaudoti transporto priemones, mažinant jų poreikį. Šis gamintojas savo ataskaitoje pateikia geros praktikos pavyzdžius, kuriuos pavyko įgyvendinti Japonijoje. Jau nuo 2000 m. detalės į gamyklą pristatomos nuosavais sunkvežimiais. Tai pirmasis automobilių gamintojas šioje šalyje, kuris naudoja savus transporto išteklius. Šios strategijos dėka pavyko užtikrinti geresnį pakrovimo santykį, sumažinti sunkvežimių ridą bei pastebėti transporto veiklos nuostolius, kurie anksčiau nebuvo akivaizdžiai matomi. Nissan automobilių gamintojas savo ataskaitoje išskyrė, jog jų įmonė yra linkusi bendradarbiauti su kitais gamintojais tam, kad būtų užtikrintas efektyvesnis transporto resursų panaudojimas. Vienas iš šio gamintojo eksperimentų, kurio metu detalių tiekimui į „Nissan Kyushu“ gamyklą buvo pasirinktas geležinkelių transportas, atskleidė, jog lyginant su kelių trans-

¹ TOYOTA 2010

² FIAT 2010

³ Zernechel, Ludwig 2011

⁴ Kroon *et al.* 2012

⁵ Bong, Ludwig 2012

portu, vežančiu tą patį krovinių kiekį, šio sprendimo pasekoje į aplinką išsiskyrė apie 70 proc. CO₂ dujų mažiau (NISSAN 2010).

Honda kartu su transporto įmonėmis siekia įgyvendinti aplinkosauginius projektus, skatindama naudoti naujo tipo sunkvežimius. Jau daug metų šis gamintojas įgyvendina multimodalinius projektus, kuriais siekiama kelių transporto srautus peradresuoti jūrų transportui maršrutuose, ilgesniuose nei 500 km ir į tam tikrus regionus, kuriuose yra gerai išvystyta multimodaliniam transportui skirta infrastruktūra. Jūrų transportu automobiliai yra skirstomi per tam tikrus uostus, kurie mažiausiu atstumu yra nutolę nuo pagrindinių pardavimo centrų. Šiuo atveju yra naudojama „sėjimo“ strategija, kai produkcija yra skirstoma per pakeleivings uostus, kurie dar kitaip vadinami importo vartais tikslinėms rinkoms (HONDA 2010).

Toyota savo tvarumo ataskaitoje pateikia gana neįprastą rezultatą, nebūdingą kitiems gamintojams, pabrėždama, jog 2009 m. dėl ekonominių priežasčių sumažėjus automobilių prekybai, daugiau produkcijos buvo skirstoma kelių transportu. Dėl šios priežasties logistinėje veikloje CO₂ dujų kiekis, tenkantis vienam automobiliui, padidėjo. Tam tikri pokyčiai, keičiant pagamintos produkcijos skirstymo kryptis, lėmė didesnį transportavimo atstumą ir tuo pačiu kelių transporto poreikį, t. y. nuo 21 proc. 2008 metais iki 28 proc. 2009 metais. Tai sąlygojo jūrų transporto paklausos mažėjimą nuo 67 proc. iki 58 proc. Naujų maršrutų įvedimas lygiagrečiai daro įtaką ekologiniams bei naudojamų resursų efektyvumo rodikliams. Ataskaitiniu laikotarpiu šis gamintojas savo skirstymo tinkle Sete mieste papildomai integravo vieną skirstymo centrą, kuris buvo skirtas Prancūzijos rinkos aprūpinimui Turkijoje pagamintais automobiliais. Šio sprendimo dėka pavyko sumažinti bendrą atstumą ir tuo pačiu CO₂ dujų išsiskyrimą iki 421 tonos per metus. Produkcijos skirstymo rezultatą siūloma skaičiuoti atsižvelgiant į transportavimo nuotolį, tenkantį vienam automobiliui (TOYOTA 2010). Šiam rodikliui didelę įtaką turi transporto priemonės pakrovimo faktorius. Pavyzdžiui, į vieną automobilvežį galima pakrauti 8, sublokuotą traukinį – 247, o kontinentinius maršrutus aptarnaujančią keltą – 500 automobilių. Tokiu atveju 1 000 km maršrutui, įvertinus pakrovimo faktorių į anksčiau minėtas transporto priemones, vienam gaminiui bus priskiriamas 125 km, 4 km ir 2 km vežimo distancija. Toyota, skirtingai nei kiti Japonijos gamintojai, gana aiškiai ir išsamiai pateikia informaciją apie logistinę veiklą Europos žemyne.

Mazda savo produkciją skirsto plačiai naudodama skirstymo centrų sistemą (angl. *Hub and Spoke System*), pagal kurią produkcija iš gamyklų yra pristatoma iki regioninių logistikos centrų, iš kurių vėliau išvežama į pardavimo vietas. Sujungus kelis logistikos centrus į vieną pavyko sumažinti logistinių operacijų neigiamą poveikį aplinkai. Šis pokytis leido pasiekti didesnį pakrovimo faktorių vietiniuose vežimuose, o kartu sumažinti reisų skaičių (MAZDA 2010). Kadangi Mazda bei Toyota gamintojų ataskaitose nėra smulkiai detalizuoti regionai, kur

vienu atveju skirstymo centrų tinklas yra mažinamas, o kitu – plečiamas, sunku vertinti sprendimų naudą įdiegiant papildomas grandis.

Pastebima, jog daugelis Japonijos automobilių koncernų didesnę dėmesį logistiniams eksperimentams ir projektams skiria savo kilmės šalyje. Tačiau to negalima vertinti neigiamai, kadangi didžioji dalis pasiekimų yra minimi kaip geros praktikos pavyzdžiai, o pasinaudojant šia patirtimi, įvairius sprendimus galima pritaikyti kiekvienos šalies ar net kontinento mastu. Tuo tarpu Europos gamintojų ataskaitose koncentruojamasi į geležinkelių transporto integravimą bei naujų ITS kūrimą. Remiantis Bong, Ludwig 2012; BMW 2010; VOLKSWAGEN 2009; Eck, Ludwig 2009, 2012; FIAT 2010; MAZDA 2010; NISSAN 2010; SUZUKI 2010; HONDA 2010; TOYOTA 2010 informacija, žemiau pateiktoje 1.2 lentelėje autorius palygino skirtingų gamintojų produkcijos skirstymui taikomus strateginius sprendimus ir tikslus.

1.2 lentelė. Pagamintos produkcijos skirstymui taikomi sprendimai ir jų palyginimas tarp skirtingų automobilių gamintojų

Table 1.2. Solutions for distribution of finished production and their comparison between different car manufacturers

Pagamintos produkcijos skirstymo strategijos	Ford	BMW	VW	FIAT	Mazda	Nissan	Suzuki	Honda	Toyota
Kelių transporto srautus perkelti į jūrų ir geležinkelio transportą. Pateikiami eksperimentiniai maršrutai bei aprašyti gautų rezultatų palyginimai	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Naudoti EURO IV ir aukštesnių standartų kelių transporto priemonės		●		●				●	
Bendradarbiauti su kitais automobilių gamintojais, optimizuojant transporto srautus	●					●			
Mažinti terminalų skaičių					●		●		
Į skirstymo tinklą integruoti naujus terminalus bei uostus			●	●					●
Nuosavo transporto parko integravimas	●			●		●			
Didesnis dėmesys logistiniams eksperimentams skiriamas gamintojo kilmės šalyje arba kontinente			●			●	●	●	
Palyginti veiklos rezultatus su praėjusiais metais. Išanalizuoti nepavykusius ir išskirti sėkmingus projektus kaip geros praktikos pavyzdžius		●		●					●

Nuolat didėjančiam krovinių disbalansui Europoje, Volkswagen lygiagrečiai siekia sumažinti produkcijos pristatymo laiką (angl. *lead time*). Pristatyti pagal užsakymą (angl. *Order to delivery*) procesas buvo perkeltas į IT sistemą, kuri įvertina įvairius ribojimus ir apskaičiuoja galimą produkcijos pristatymo laiką. Remdamiesi šiuo rezultatu, kiekvienos sekcijos vadybininkai turi užtikrinti, kad automobilio gamybos baigtiniai procesai atitiktų suplanuoto laiko rėmus. Tokiu principu buvo sukurta ir įdiegta transporto resursų valdymo sistema, skirta detalių paklausos nustatymui. Įvertinus gamybos apimtis ir transporto pajėgumus, tai leido nustatyti detalių, skirtų automobilių gamybai, paklausą prieš 16 savaičių. Šių sprendimų dėka galima geriau planuoti savo logistinę veiklą ir išvengti nenumatytų apimčių augimo, dėl ko transporto valdymo procesai tampa sudėtingesni. Jei yra žinoma, kiek ir kada gamybos linijose bus gaminama automobilių, skirtų tam tikrai rinkai, daugiau laiko lieka suplanuoti optimalius sunkvežimių ir traukinių maršrutus bei užtikrinti nustatytą produkcijos pristatymo terminų laikymąsi (Eck, Ludwig 2009). Anksčiau pagaminti automobiliai gamyklose buvo grupuojami pagal jų skirstymo kryptis, tai reiškia, kad gamintojas turėdavo sandėliuoti pagamintą produkciją tol, kol nepagamindavo reikiamo kiekio, kuris užtikrintų pilną automobilvežio ar vagono pakrovimą. Tam, kad greičiau suformuotų pilną krovinį, kai kurių gamyklų, gamybos linijose automobiliai surenkami pagal geografines kryptis. Tačiau šio principo negalima taikyti visoms gamykloms. Dėl to buvo nuspręsta savo gamyklų tinklą panaudoti skirtingų krypčių krovinių konsolidavimui. Pavyzdžiui, Volsburgo gamykloje Vokietijoje yra pagaminti trys, o Hanoveryje, Vokietijoje, penki automobiliai, kurie yra skirti Prancūzijos rinkai. Tokiu atveju Volsburge esantys trys automobiliai geležinkelio transportu yra siunčiami į Hanoverį, ir taip gamykloje susidaro pilnas kroviny s automobilvežiui, kuris pilnai pakrautas važiuoja į Prancūzijoje esantį regioninį terminalą. Šios koncepcijos dėka gamintojas gali ženkliai sumažinti transportavimo laiką, užtikrinti reikiamą transporto priemonių pakrovimą bei sumažinti pagamintos produkcijos atsargas (Eck, Ludwig 2012).

Kai kurios organizacijos labai atsakingai reaguoja į neigiamą poveikį aplinkai ir savo transporto operacijoms naudoja mažesnės emisijos transporto priemones. Viena tokių – FIAT automobilių gamintojas, kuris 2007 m. savo pagamintos produkcijos skirstymo tinkluose inicijavo tik EURO III ir aukštesnių ekologijos standartų transporto priemonių naudojimą. 2009 m. tokio tipo sunkvežimiai sudarė 30 proc. Siekiant efektyvesnio transporto išteklių valdymo, šis gamintojas naudoja nuosavą automobilvežių parką, kuriame daugiau nei 80 proc. sunkvežimių atitinka EURO V standartą. Siekiant sumažinti transporto grūsčių kiekį keliuose, kaip ir kiti gamintojai, FIAT nuolat ieško alternatyvių sprendimų, diegdama naujus multimodalinius maršrutus. Metinėje ataskaitoje yra pateikiamas geros praktikos pavyzdys geležinkelių transportu iš Tychi miesto, Lenkijoje, esančios gamyklos pagamintą produkciją skirstyti į Belgijos ir

Prancūzijos uostus bei skirstymo centrus. Šio eksperimento rezultatai parodė, jog kelių transporto rida šiais maršrutais buvo sumažinta 13,3 mln. kilometrų, o tai nulėmė, jog į aplinką išsiskyrė 10 620 t. CO₂ dujų mažiau (FIAT 2010).

Ford markės automobiliai Europoje skirstomi 30 proc. naudojant geležinkelį, 30 proc. – jūrų ir 40 proc. – kelių transportą. Daugeliui transporto įmonių yra pakankamai sunku rasti atgalinį krovinį ir neretai pasitaiko atvejų, kai transporto priemonė grįžta į tą pačią pakrovimo vietą tuščia eiga. Pabrėžiama, jog automobilių gamintojai tarpusavyje galėtų daugiau dėmesio skirti efektyvesniam transporto resursų panaudojimui. Tačiau nelaukiant, kada tai bus įgyvendinta, Ford žengė pirmuosius žingsnius ir sukūrė produkcijos stebėjimo sistemą, kuri leidžia greitai sukurti naują multimodalinį srautą, prisitaikant prie kito gamintojo. Pavyzdžiui, vienas gamintojas į Rumunijoje esantį uostą atplukdo tam tikrą kiekį produkcijos, tuomet, Ford iš savo gamyklos Krajovos mieste, Rumunijoje, produkciją geležinkelių transportu nukreipia į tą patį uostą. Tokiu būdu vieno gamintojo produkcijos importo srautas bus jungiamas su kito gamintojo eksporto srautu ir užtikrinamas geresnis transporto resursų panaudojimas. Jeigu nėra galimybės subalansuoti srautų, tada produkcija į Vakarų Europą iš šios gamyklos eksportuojama geležinkelių transportu. Prieš keletą metų įmonė Ford Didžiojoje Britanijoje nusprendė naudoti savo transportą. Šis sprendimas buvo skirtas amortizuoti skirstymo sistemos trikdžius, susijusius su kelių transporto deficitu. Didžiosios Britanijos automobilių rinka išsiskiria itin didele produkcijos paklausa kovą bei rugsėjį, kai automobilių pardavimai, lyginant su kitais mėnesiais, išauga dvigubai. Natūralu, kad su tokia pat problema susiduria ir kiti gamintojai, o įvertinus kabotažo ribojimus, taikomus kitų šalių vežėjams, piko metu susiformuoja transporto trūkumas. Šiandien apie 75 proc. visų Ford vežimų kelių transportu šioje šalyje vykdo nuosavas parkas. Ši strategija leido geriau suprasti transporto išlaidų struktūrą bei planuoti efektyvesnį išteklių valdymą, užtikrinant atgalinius krovinius. Šio gamintojo iniciatyva didelis dėmesys yra skiriamas informacijos sklaidai apie gamybos planus. Tam, kad vežėjai, uosto ar terminalo operatoriai galėtų planuoti savo veiklos apimtį, automobilių gamybos planai yra pateikiami prieš 7 savaites (Bong, Ludwig 2012).

Vokietijos automobilių gamintoja BMW savo ataskaitoje pateikia gana išsamią informaciją, susijusią su gamybos bei transporto veiklos poveikiu aplinkai. Būdamas atsakinga ir pažangos siekianti organizacija, deklaruoja ne tik esamus rezultatus, bet ir numato priemones, pasiekti efektyvesniam resursų naudojimui. Šis koncernas išskiria tam tikras tvarios veiklos organizacijas, kuriose BMW veikla yra kotiruojuama su kitomis įmonėmis ir nustatomas pažangos reitingas. Siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai, vienas iš sprendimų – įpareigoti savo logistikos paslaugų teikėjus naudoti mažiausiai EURO IV standartą atitinkančius sunkvežimius. Kadangi didžioji dalis produkcijos yra skirstoma per tarpinius taškus, t. y. terminalus ir uostus, todėl apie 47 proc. pagamin-

tų automobilių pirmąją atkarpą transportuojami geležinkelių transportu (BMW Group 2010).

Apibendrinant galima teigti, jog įvairūs sprendimai, skirti produkcijos srautų valdymui, kaip antai: skirstymo tinklo transformacijos, didesniu pakrovimo faktoriumi išsiskiriančių transporto rūšių integravimas, nuosavų transporto išteklių valdymas, ekologiškesnių sunkvežimių naudojimas yra susiję su mažesnę taršą aplinkai darančiomis priemonėmis. Šių sprendimų efektyvumui pagrįsti daugelis automobilių gamintojų išskiria transportavimo atstumą, tenkantį vienam produkcijos vienetui. Efektyvesniam transporto resursų panaudojimui siūlomas atskirų gamintojų bendradarbiavimas, tačiau nagrinėtų informacijos šaltinių medžiagoje ši galimybė pateikta teoriniu lygmeniu, neatskleidžiant strategijos vystymo gairių bei numatomų rezultatų patrauklumo „pariteto“ prasme.

1.3. Pagamintų automobilių skirstymo sistemos ypatumų analizė

Daugelyje krovinių ar keleivių skirstymo sistemų galima aptikti nemažai panašumų, tačiau kiekviena jų turi tam tikrus specifinius bruožus, kurie būdingi konkrečiai pramonei, regionui, gaminiui, maršrutui ir t. t. Todėl sprendžiant rinkų aprūpinimo uždavinius atskiros pramonės atveju, būtina išskirti jos unikalias savybes. Siekiant nustatyti charakteringus požymius, pagamintų automobilių skirstymo sistema buvo suskirstyta į tris etapus (1.6 pav.):

1. Produkcijos paklausos nustatymas.
2. Produkcijos paruošimas išvežimui iš gamyklos.
3. Produkcijos skirstymo maršrutų sudarymas.

1.3.1. Produkcijos paklausos nustatymas

Ilgą laiką automobiliai buvo gaminami naudojant masinės gamybos principą, kuris byloja, jog produkto gamybos savikaina ženkliai mažėja, didėjant jo gamybos mastams. Ši strategija itin gerai pasiteisino didelio ekonomikos augimo laikotarpiais. Tačiau keičiantis vartotojų individualiems poreikiams, siekdami pranokti savo konkurentus, gamintojai buvo priversti didinti konkurencinį pranašumą į rinką pateikdami kuo daugiau skirtingų automobilių modelių, kurie išsiskirtų įvairia spalvų gama, variklių tipais, saugumą ir patogumą užtikrinančiomis naujausiomis technologijomis. Jei Audi gamintojas 1996 m. galėjo pasiūlyti 4 automobilių modelius, tai 2000 m. – 8, o 2007 m. – 21 (Krog, Statkevich 2008). Šiandien pramonės pasaulis priverstas gerai įvaldyti plataus asortimento produkcijos gamybos sistemą mažais kiekiais. Todėl laikai, kai pagaminti milžiniški automobilių kiekiai savaime formavo rinkos paklausą, apsisvertė 180 laips-

nių ir paklausą formuoja ne gamintojai, o klientai. Jeigu pirkėjas įsigyja vieną automobilį, tai nereiškia, kad po kelių metų jam prireiks naujo. Lygiai taip pat negalima vertinti ir tam tikros šalies ar regiono poreikio, kur vieną mėnesį gali būti nupirkta 100, kitą – 40 automobilių (Vahdani *et al.* 2012). Pagrindinis skirtumas tarp pagamintų dalių, skirtų automobilių surinkimui, ir surinktų automobilių skirstymo yra tas, kad pastarajam procesui negali būti taikoma JIT sistema, kadangi surinkti automobiliai dažniausiai yra laikomi terminaluose tol, kol įgaliotas pardavimo atstovas nepateikia gamintojui užsakymo (Menzel *et al.* 2010). Mokslininkų Holweg ir Miemszyk (2003) atlikti tyrimai parodė, jog apie 15 proc. sandėliuojamos produkcijos yra perskirstoma tarp regioninių terminalų dar negavus užsakymo (Holweg, Miemszyk 2003). Vadinasi, prognozėmis grįsti gamybos planai dirbtinai formuoja paklausą ir neatspindi realios situacijos rinkoje esamu periodu (Kaya *et al.* 2013). Tam, kad pagamintos produkcijos kiekis atitiktų rinkos poreikius ir užtikrintų sklandžią gamyklų veiklą, gamintojai turi vadovautis aktualia informacija.

Dominuojanti ir vis dar plačiai taikoma gaminti pagal prognozes (angl. *Build to Forecast*) sistema yra paremta paklausos prognozavimu, remiantis gauta informacija iš įgaliotų atstovų apie ankstesnius pardavimo rezultatus. Šis procesas atspindi masinės gamybos bruožus, kadangi produkcijos paklausa yra nustatoma pagal tam tikro periodo atsargų lygį. Tačiau stiprėjanti pasaulinė konkurencija automobilių gamintojus pastūmėjo taikyti gaminti pagal užsakymą (angl. *Build to Order*) koncepciją, kurios dėka vartotojai pagal individualius poreikius gali pasirinkti automobilio komplektaciją dar prieš jų pagaminimą. Europoje apie 48 proc. automobilių yra pagaminti, remiantis klientų užsakymais, likusi 52 proc. dalis – gamintojo sudarytomis prognozėmis. JAV minėta proporcija sudaro 6 proc. ir 94 proc. (Holweg, Pil 2004). Šiame regione vis dar plačiai taikoma prieš daugiau nei šimtą metų Henrio Fordo sukurta ir išpopuliarinta masinės gamybos sistema.

Laiko intervalas nuo užsakymo pateikimo gaminti automobilį iki jo pristatymo galutiniam klientui vidutiniškai trunka apie 40 dienų, iš kurių tik 60 val. prireikia gamybai. Apie 85 proc. laiko sąnaudų tenka informacijos srauto valdymui, kurį apima: užsakymo gavimas bei jo perdavimas į banką, gamybos grafiko sudarymas bei reikiamų dalių užsakymas (Holweg *et al.* 2005). Herold (2005) atlikto tyrimo rezultatai parodė, jog klientai nėra linkę laukti automobilio ilgiau nei 2–3 savaites, tačiau tikslo, atitikti vartotojų poreikį, daugeliui gamintojų pasiekti nepavyko. Mokslininkai Holweg ir Pil (2001) pirmieji atliko išsamią analizę, kurioje buvo nagrinėjamos gaminti pagal užsakymą koncepcijos taikymo galimybės automobilių pramonėje, ir pastebėjo, jog nepaisant gerų ketinimų, gamintojams nepavyko sumažinti užsibrėžto produkcijos pristatymo laiko. Pagrindinės to priežastys buvo sudėtingi užsakymų apdorojimo ir planavimo procesai. Todėl siekdami padidinti automobilių, kurie yra Gaminami pagal užsaky-

mą, kiekį, daugelis gamintojų išskėlė sau uždavinį sumažinti produkcijos pristatymo laiką galutiniam vartotojui ir inicijavo kūrimą tam tikrų programų, kurių tikslas pasiekti, jog klientas savo norimą produktą gautų ne vėliau nei per 2–3 savaites (Reichhart, Holweg 2008). Pakartotinai atliktas Reichhart ir Holweg (2008) tyrimas parodė, jog bent jau teoriškai šiuo metu gamintojai turi galimybę pagamintą produktą pagal užsakymą pristatyti gavėjui per 10 dienų.

Automobilių gamyklų surinkimo linijos turi fiksuotą darbo greitį, pagal kurį yra nustatomas kiekvienos gamyklos pajėgumas tam tikru laiko periodu. Tačiau dėl tam tikrų faktorių, tokių, kaip dalių tiekimo sutrikimai, konvejerio techniniai gedimai, valstybinės šventės ar kasmetinės atostogos, kai gamyba yra nutraukiama, surinkimo procesuose susiformuoja laiko neapibrėžtumas. Todėl gamybos apimtys negali visada būti identiškos skirtingais laikotarpiais (Jin *et al.* 2008; Marques *et al.* 2012). Tam, kad nesutriktų dalių tiekimas gamyklai, Sadjadi *et al.* (2009) rekomenduoja tiekėjams nustatyti minimalų atsargų lygį, kuris turi būti gamykloje, ir kurio pakaktų 2–3 dienom užtikrinti tiekimo procesų stabilumą. Šį ribojimą taip pat galima taikyti ir pagamintiems automobiliams. Tačiau būtina venkti atsargų ir gaminių pertekliaus, kuris dažniausiai sukelia tokias problemas, kaip susidėvėjimą, defektus, netinkamą produkcijos skirstymą, gamybos linijų sutrikimus ir kt.

Pastebima, jog daugelio mokslininkų skaičiavimuose produkcijos paklausa nagrinėjamu laikotarpiu yra fiksuoto dydžio, o šio rodiklio nustatymui dažniausiai naudojami tikimybiniai metodai. Tačiau, įvertinus anksčiau minėtus galimus neapibrėžtumo faktorius, traktuoti, jog skirtingais laiko periodais pasikrovimo taške bus užtikrintas vienodas produkcijos kiekis yra netikslinga. Todėl siekiant įvertinti tiekimo sistemos dinamiką bei nustatyti sutrikimus, kurie susiformuoja esant produkcijos deficito ar perviršio atvejais, paklausos rodiklis turėtų būti kintamo dydžio.

1.3.2. Pagamintos produkcijos paruošimas išvežimui iš gamyklos

Pasibaigus produkto gamybos ciklui prasideda automobilių skirstymo procesas. Remdamiesi produkcijos paklausos duomenimis, gamintojų logistikos padaliniai kiekvienais metais parengia skirstymo planus ir suformuoja tiekimo kanalus, kurie leistų užtikrinti efektyvų transporto resursų bei infrastruktūros panaudojimą. Tačiau dėl gana didelio žmoniškojo faktoriaus įtakos, šiuose procesuose dažnai susiduriama su neapibrėžtumu ir didele aibe problemų, kurios yra sprendžiamos logistinių procesų eigoje (Cardoso *et al.* 2013). Nepaisant to, suplanuotame skirstymo procese turėtų būti numatomi galimi sutrikimai ir avariniai scenarijai jiems išspręsti (Fu *et al.* 2012). Pavyzdžiui, jei tarpvalstybiniai prekių mainai yra netolygūs, t. y. šalies importas sudaro didesnę dalį nei eksportas, bū-

tina įvertinti, jog samdomam vežėjui bus sunku rasti atgalinį krovinį ir dėl to siūloma transportavimo kaina turės padengti grįžimo arba važiavimo iki pirmos pakrovimo vietos sąnaudas.

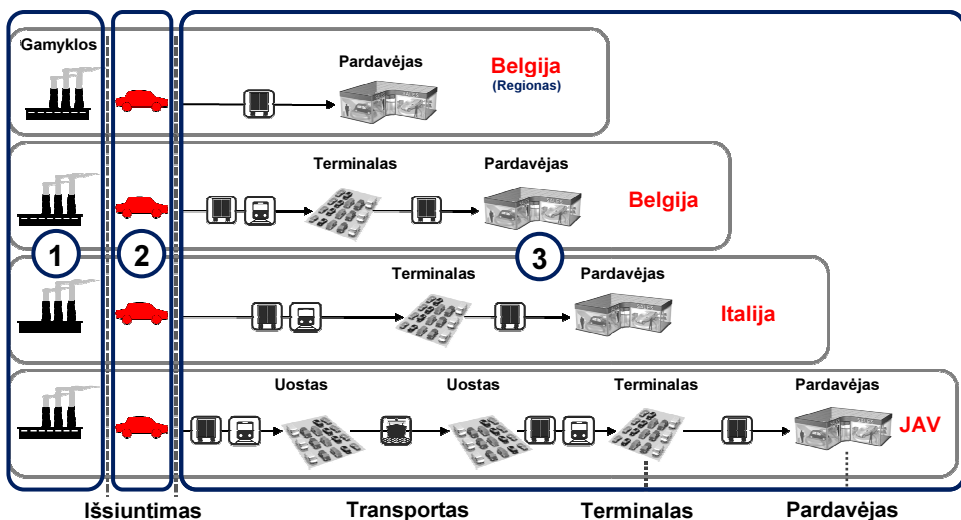
Sklandžiam ir nepertraukiamam tiekimui sezoniškumo faktorius taip pat turi įtakos. Šis rodiklis atspindi realią rinkos situaciją tam tikrais metų periodais, kur sudarytos metinės produkcijos realizacijos apimtys dažniausiai kinta 10–20 proc. diapazone (Marques *et al.* 2012). Atsižvelgiant į tai, taipogi reikia numatyti, ar pasikeitus krovininių apimtims logistinių paslaugų tiekėjai sugebės amortizuoti šiuos svyravimus ir ar nesutriks tiekimo ciklas. Pasirinkti tinkamus partnerius, kurie užtikrintų tam tikro gamintojo produkcijos pristatymą iki galutinio kliento, yra itin atsakingas procesas, kadangi nuo to priklauso pakrovimo, transportavimo, perkrovimo ir iškrovimo paslaugų kokybė. Siekdami sumažinti galimą riziką, esant vežėjo nepatikimumo atveju ar transporto resursų stygiui, gamintojai dažniausiai pasirenka kelis operatorius. Kaip antai: Volkswagen grupės gaminių tiekimui Europoje yra samdomos 105 automobilvežių, 15 geležinkelių ir 8 laivybos įmonės (Eck, Ludwig 2012). Visų šių įmonių transporto parkas turi užtikrinti sklandų ir kokybišką gamintojo produkcijos tiekimą suplanuotais maršrutais.

Nauji automobiliai gamyklų teritorijose yra sugrupuojami į tam tikras eiles, kuriose automobilių kiekis yra lygus transporto priemonių (kelių ir geležinkelių) pakrovimo faktoriui, o jų išdėstymą lemia eksporto kryptys į tikslinius regionus. Įprastai logistikos operatoriai nėra linkę iš gamyklų išsiųsti nepilnai pakrautas transporto priemones, todėl krovininių dydį nustato pagal galimą pakrovimo faktorių. Pavyzdžiui, į vieną automobilvežį vidutiniškai galima pakrauti 8, į vagoną – 10 automobilių. Tačiau kai kuriose mokslinėse publikacijose yra teigiama, jog transporto poreikis atsiranda tuomet, kai siuntėjas gali užtikrinti didesnę nei 50 proc. pakrovimą (Coelho *et al.* 2012a). Automobilių vežimui skirtos transporto priemonės yra priskiriamos specializuotam transportui, kadangi jų konstrukcijos nėra pritaikytos kitų krovininių transportavimui. Pagaminta produkcija, kuri yra jau paruošta transportuoti automobilvežiais, gamyklos terminale gali būti saugoma iki 48 valandų, tuo tarpu – geležinkelių transporto priemonėmis 1–5 dienas, toks laukimo laikas susidaro dėl to, jog nėra tinkamo gamybos laiko planavimo, dėl to reikiamu laiku nepavyksta užtikrinti tinkamo kiekio transporto priemonių, skirtų išvežti pagamintai produkcijai, kuri kaupiasi sandėliuose (Jin *et al.* 2008).

Naujų automobilių skirstymo sistemos sandara priklauso nuo atstumo tarp gamyklų ir realizacijos rinkų bei jose esančių pardavimo centrų. Vietinei rinkai skirta produkcija iš gamyklos į pardavimo vietas dažniausiai yra pristatoma tiesiogiai, nenaudojant tarpinių operacijų (Klug 2010). Šis skirstymo procesas priskiriamas vienos pakopos tiekimo grandinei, o jos funkcinis ryšys užtikrinamas tik kelių transportu. Automobilių tiekimui tolimomis distancijomis šalies viduje

ir tarptautiniais maršrutais naudojama kelių pakopų tiekimo grandinė, kurioje gamyklos ir realizacijos taškai jungiami mažiausiai vienu tarpiniu mazgu, o vežimo funkciją atlieka sausumos ir vandens transportas (Shu *et al.* 2012; Grieneisen, Hermes 2012). Tarpkontinentiniam produkcijos tiekimui dažniausiai yra naudojama uostų bei regioniniai terminalai, šioje skirstymo sistemos pakopoje automobiliai yra transportuojami ne tik geležinkelių ar kelių transportu, bet ir jūrų transportu. Mokslininkų Geotschalckx *et al.* (2013) ir Nieuwenhuis *et al.* (2012) teigimu, visais atvejais didesniu pakrovimo faktoriumi išsiskiriančios transporto priemonės yra susietos prie tam tikrų infrastruktūros ribojimų, o tarpinės funkcijas padeda eliminuoti dideliu lankstumu pasižymintis kelių transportas (1.6 pav.). Daugelyje mokslinių tyrimų atskleista, jog tarpinių operacijų gausa lemia didesnę žalų faktorių, ilgesnį transportavimo laiką ir kai kuriais atvejais vežimo operacijų pasikartojimą, kuris formuoja bendruosius logistinės veiklos nuostolius, netikslingai naudojant transporto išteklius (Comoglio, Botta 2012; Nieuwenhuis *et al.* 2012; Lee 2012).

Įprastai daugelyje gamyklų nėra surenkami visi to paties prekinio ženklo automobilių modeliai. Dėl šios priežasties produkcijos skirstymo sistemos pirmame etape turėtų būti išskirtas atskirų gamyklų našumas konkrečiu laiko momentu bei pakrovimo į transporto priemones faktorius, kas leistų nustatyti šio mazgo transporto poreikį.



1.6 pav. Pagamintų automobilių skirstymo sistema
Fig. 1.6. Distribution system of finished vehicles

1.3.3. Maršrutų planavimo ir specifinių transporto problemų sprendimams taikomi metodai

Tradiciškai tiekimo grandinės dalyviams, tokiems kaip gamintojas arba gavėjas, atsargų skirstymo metodai yra kiekvieno individualus reikalas, todėl dažniausiai nėra atsižvelgiama į galimą globalų optimizavimo procesą, kuris taip pat turėtų reikšmės ir kitiems (Palm *et al.* 2012). Todėl į skirstymo tinklą reikia pažvelgti kaip į vientisą sistemą ir analizuoti jo sudedamąsias dalis ir jų poveikį bendriems rezultatams.

Mokslinėje literatūroje aptinkamas gausus kiekis modelių, kuriuose yra integruoti gamybos bei atsargų arba atsargų ir skirstymo sprendimai tiekimo grandinėje. Šių dienų skirstymo procesuose, kai gamintojai siekdami sumažinti susikaupusios pagamintos produkcijos atsargas, peradresuoja jas savo klientams, yra laikomas ydingu procesu, kuris lygiagrečiai neigiamai veikia ir transporto resursų bei infrastruktūros panaudojimo efektyvumą (Coelho *et al.* 2012b). Todėl transporto maršrutų parinkimo (angl. *Vehicle Routing Problem*) bei atsargų skirstymo (angl. *Inventory Routing Problem*) problemos yra viena iš svarbiausių tyrimų sričių daugelyje pramonės šakų. Klasikiniuose tokio pobūdžio sprendimuose produkcijos skirstymui naudojamas fiksuotas transporto priemonių kiekis, kurio pakanka pristatyti krovinius iš tiekėjo į paklausos centrus (Herault *et al.* 2012). Dažniausiai tokiai problemai spręsti mokslininkai taiko uždaro maršruto sąlygą, kai transporto priemonės, aplankiusios tam tikrą skaičių klientų, grįžta atgal į gamintojo bazę (Coelho *et al.* 2012b; Jiang *et al.* 2010; Sadjadi *et al.* 2009; Liao *et al.* 2010). Praktikoje toks skirstymo modelis naudojamas tuomet, kai vietinei rinkai arba tam pačiam regionui skirta produkcija iš gamyklos į pardavimo centrus tiesiogiai pristatoma kelių transportu, nenaudojant tarpinių perkrovimo ar rūšiavimo operacijų. Įprastai klasikiniuose transporto problemų sprendimuose daroma prielaida, jog tiekėjų turimas atsargų kiekis atitinka paklausos lygį nustatytu laiko periodu (Coelho *et al.* 2012a).

Kai gaminiai turi pasiekti dideliu atstumu nuo gamyklos nutolusį pardavimo centrą, produkcijos tiekimui reikalinga kelių pakopų skirstymo sistema (1.6 pav.). Šioje struktūroje yra mažiausiai vienas perkrovimo mazgas, priskirtas tam tikram regionui, o transportinį ryšį užtikrina įvairiarūšis transportas (kelių, geležinkelių, vidaus vandenų bei jūrų) (Klug 2010; Grieneisen, Hermes 2012). Pagamintos produkcijos skirstymui taikoma tarpinio terminalo ar sandėlio (angl. *Cross Dock*) sistema yra laikoma efektyviu metodu, padedančiu kontroliuoti atsargų srautus ir itin plačiai naudojamas tiekimo grandinės valdyme (Vahdani *et al.* 2012). Dažniausiai tokiuose mazguose atsargos yra rūšiuojamos, konsoliduojamos, perskirstomos į kitus krovinius bei atliekamos papildomos funkcijos trumpiau nei 12 val. laikotarpiu (Liao *et al.* 2010). Šios sistemos dėka yra pasiekiami optimali vežimo kaina, užtikrinant maksimalų transporto priemonės užpildymą (Jeong *et al.* 2007). Perkrovimo mazgas arba kitaip skirstymo centras

turi tam tikrus infrastruktūrinius ribojimus, pagal kuriuos yra įvertinama maksimali talpos reikšmė. Nustatyta, jog konsolidavimo trauką į tarpinius centrus su nepakankama arba mažesne talpa gali kompensuoti kiti, šalia esantys skirstymo centrai (Jeong *et al.* 2007). Tačiau būtina atkreipti dėmesį, jog donoriniai mazgai daro įtaką skirstymo operacijų dubliavimuisi.

Atsižvelgiant į krovinio specifiką, gamintojai nustato atitinkamus reikalavimus, kurie turi būti pritaikyti produkcijos transportavimui, perkrovimui, saugojimui ir kitoms papildomoms operacijoms (defektų šalinimui, pakuočių pakeitimui ir kt.). Cordeau *et al.* (2011) nagrinėjo vieno Europos automobilių jūrinio terminalo praktinę problemą, kurioje atsispindėjo minėtos sąlygos. Pagal gamintojų instrukcijas, automobiliai perkrovimo terminale turi būti parkuojami į tam tikro ilgio eiles. Jei iš suformuotos eilės yra išvežami keli automobiliai, siekiant išvengti galimų pažeidimų, likę turi likti stovėti toje pačioje pozicijoje. Įvertinant tai, jog tolimųjų nuotolių (tarpkontinentinei) laivybai skirtais keltais vienu metu į uostą gali būti atplukdoma 6 000, o trumpųjų nuotolių (kontinentinei) laivybai skirtais keltais – 1 000 automobilių, atvykstantys ir išvykstantys kroviniai turi būti suskirstyti taip, kad užtikrintų optimalią teritorijos talpą. Sprendimas, skirtas automobilių terminalo veiklos optimizavimui, buvo formuojamas atsižvelgus į parkavimo grupių prioritetus, krovinių išsidėstymą terminale, apimčių prognozavimą bei įvertinant galimybę performuoti grupes ir keisti automobilių parkavimo vietas. Remiantis realiais vieno automobilių terminalo duomenimis buvo pastebėta, jog optimizuojant tam tikrus procesus, geriausiai imti vieno mėnesio intervalą, kadangi rezultate atsispindės optimizavimo funkcijos tęstinumas ir leis stebėti, kaip vienos dienos rezultatai lemia kitos dienos vykdomas operacijas.

Viena esminių pagamintų automobilių skirstymo problemų yra nustatyti optimalų perkrovimo taškų (terminalų, skirstymo centrų, manevrinių geležinkelio stočių) skaičių (Badri *et al.* 2013). Tarpinių operacijų kiekis turi lemiamą vaidmenį pristatymo laikui, galimų pažeidimų skaičiui, transporto priemonių našumo užtikrinimui bei transportavimo kainai (Palšaitis, Ponomariovas 2012; Qiang, Nagurney 2012). Surinkimo, perkrovimo ir kitos papildomos operacijos, skirtos maksimizuoti transporto priemonių našumui, ne visada gali būti kruopščiai suplanuotos laiko intervale. Dėl tam tikrų infrastruktūros ribojimų, žmoniškojo faktoriaus bei nenumatytų atvejų gausos, transporto procesuose neretai nepavyksta užtikrinti sklandaus tarpinio sandėlio sistemos funkcionavimo (Klibi, Martel 2012). Pavyzdžiui, susidarius eismo kamščiui ar įvykus avarijai, kas dažnai pasitaiko kelių transporte, produkcija vėluoja arba visai neatvyksta suplanuotu laiku į paskirties vietą (Bashiri *et al.* 2012). Esant tokiam scenarijui, krovinių perskirstymas, grupavimas ir susiejimas su kitomis transporto priemonėmis tarpiniuose mazguose negali būti atliekamas numatytu laiku, todėl susiformuoja pristatymo laiko, reikiamo transporto išteklių kiekio, tarpinių operacijų neapi-

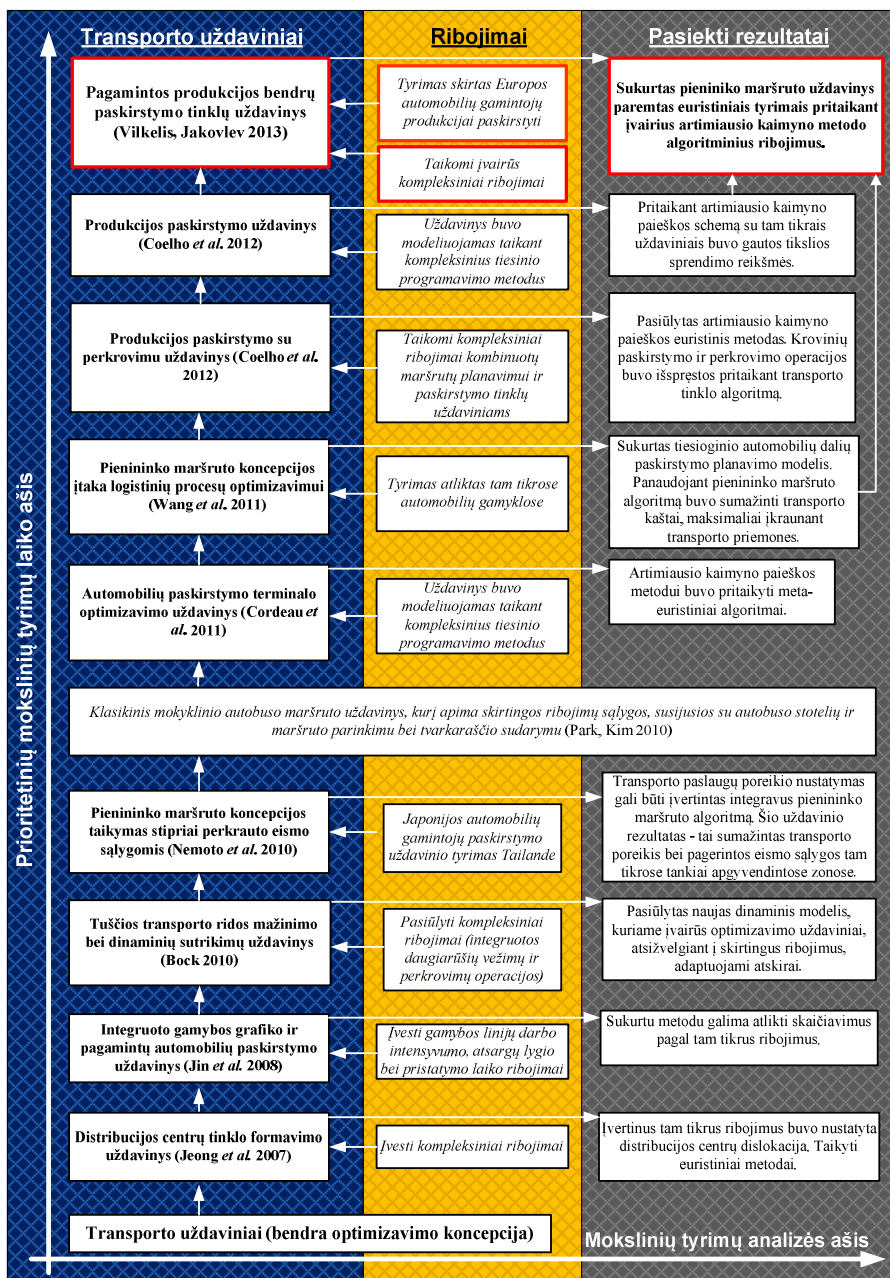
brėžtumas. Vadinasi, kuo skirstymo sistemoje yra daugiau funkcinė priklausomybė susijusių elementų, tuo sunkiau užtikrinti jų tarpusavio sklandų funkcionavimą.

Daugelyje tyrimų krovinių ar keleivių pristatymo laikas yra įvedamas kaip papildoma ribojimo funkcija (Park, Kim 2010). Tačiau ne visuose skaičiavimuose atsispindi tam tikri transporto priemonių važiavimo greičiui turintys įtakos veiksniai, kaip antai darbo ir poilsio režimo reikalavimai taikomi kroviniui ir keleiviniui kelių transportui (Bock 2010). Dažniausiai transporto uždaviniai yra sprendžiami remiantis euristiniais metodais ir tik keleto autorių tyrimai yra pagrįsti konkrečiais pavyzdžiais. Dėl šios priežasties ne visada yra aiški duomenų imtis, t. y. resursų, atsargų kiekiai, laiko intervalas bei pasiūlyto modelio galimas pritaikymas realiomis sąlygomis.

Transporto uždaviniuose daugelis sprendimų yra pagrįsti teoriniu būsimų procesų numatymu, todėl spėjama, jog visi fiksuoti parametrai yra žinomi iš anksto. Bock (2010) pasiūlyta realaus laiko kontrolės koncepcija, esant tam tikriems transportavimo procesų plano neatitikimams, reaguoja į kiekvieną žymų sutrikimą transporto tinkle ir pagal tai performuoja vežimo planus. Nenumatyti sunkvežimių gedimai, važiavimo greičio limitai, eismo spūstys šiame modelyje yra integruoti atskirai, kaip galimi sutrikimų scenarijai. Dažniausiai modeliuojami transporto maršrutai yra fiksuojami nustatant ribotą galimų jungčių skaičių (Rieck 2011; Huang *et al.* 2012; Turkensteen, Klose 2012). Dėl tos priežasties maršrutai, esant tam tikriems trikdžiams, negali būti performuojami arba pakeisti alternatyviaisiais (Shakeri *et al.* 2012). Todėl siūloma, jog dinaminių maršrutų sprendimuose tarpiniams mazgams nebūtų taikomos pasiekiamumo ribos, o tam, kad būtų lengviau nustatyti transporto maršrutų sutrikimus geografiniu atžvilgiu, pakrovimo, perkrovimo ir pristatymo taškus patariama atvaizduoti žemėlapyje (Bock 2010, Liu *et al.* 2013).

Pastaraisiais metais buvo atlikta nemažai tyrimų, kuriuose klasikiniai transporto uždaviniai buvo sprendžiami kompleksiniu būdu, integruojant įvairius papildomus ribojimus. Tačiau pastebima, jog sprendimai, kuriuose yra taikoma daugybė papildomų realių ribojimų, tampa pernelyg sudėtingi. Tokio pobūdžio uždaviniai buvo nuodugniai tiriami sprendžiant įvairias inžinerines, pašto pakirstymo, keleivių vežimo ir galiausiai su automobilių pramone susijusias problemas. Autoriaus sudarytame 1.7 paveiksle pateikta glausta informacija apie naujausius mokslinius tyrimus, kuriuose buvo analizuojamos specifinės transporto problemos ir pasiūlyti tam tikri sprendimo metodai.

Siekiant efektyviau naudoti transporto išteklius, daugelis mokslininkų siūlo taikyti Pienininko maršruto (angl. *Milk Run*) koncepciją, kuri yra plačiai naudojama logistikos ir tiekimo grandinės uždavinių sprendimui, transportuojant įvairią produkciją.



1.7 pav. Specifinių transporto problemų sprendimo metodų apžvalga
Fig. 1.7. Overview of solution methods of specific transport problems

Šio uždavinio formuluotė ir pati koncepcija yra paremta tradicine pieno skirstymo sistema Didžiojoje Britanijoje, kai kiekvieną rytą pienininkas važiuodamas tam tikru maršrutu aplanko daugybę namų surinkdamas paliktus tuščius pieno butelius ir į jų vietas pastato pilnus (Wang *et al.* 2011). Ši skirstymo sistema laikui bėgant buvo pradėta taikyti daugelyje pramonės šakų, o taip pat automobilių pramonėje, tiekiant dalis gamybai. Pienininko maršruto sistema apima patį maršrutą, laiko grafiką, produkto tipą ir automobilių detalių kiekį, kurį skirtingi sunkvežimiai turi pristatyti įvairioms gamykloms, įvertinant sąlygą, jog visi sunkvežimiai į paklausos centrus turi grąžinti tuščią tarą, t. y. paletes bei kitas pakuotes. Šios koncepcijos, kaip ir kitų transporto uždavinių, tikslas yra sumažinti transportavimo ir atsargų laikymo kaštus (Toshinori *et al.* 2010). Autorių Sadjadi *et al.* (2009) siūlymu, spręsti automobilių dalių skirstymą, taikant Pienininko maršruto uždavinį, buvo suformuotas uždavinio tikslas, jog automobilių gamintojai įvertina pasirinktus dalių tiekėjus, ir remdamiesi jų teikiamų produktų kokybiniais rodikliais, priima kiekybinius sprendimus, pritaikytus kiekvienam tiekėjui individualiai. Būtina sąlyga, jog formuojamame uždavinyje būtų apibrėžiamas tikslus dalių pristatymo laikas. Kitaip tariant, jeigu kiekvienas tiekėjas tiksliai žinotų detalių pagaminimo ir pristatymo laiką, automobilių gamintojas galėtų suformuoti tikslų gamybos grafiką (Jiang *et al.* 2010). Galiausiai autorių pasiūlytas modelis gali keisti sunkvežimių maršrutus esant nepastoviam laiko grafikui.

Krovininio transporto priemonių tuščios ridos faktorius yra vienas esminių kriterijų, vertinant transporto išteklių naudojimo efektyvumą, todėl daugelio transporto uždavinių sprendimui yra taikomas Artimiausio kaimyno metodas, kuris jungia mažiausiu atstumu nutolusius taškus ir tokiu būdu formuojami tęstiniai transporto priemonių maršrutai bei didinamas ridos išnaudojimo koeficientas (Liu *et al.* 2013; Shakeri *et al.* 2012; Shakeri *et al.* 2012). Jiang *et al.* (2010) sukurtame modelyje panaudojus šį metodą, bendrą ridą pavyko sumažinti daugiau nei 20 proc. Tačiau pastebima, jog daugelyje tyrimų, kuriuose yra taikomas pastarasis metodas, artimiausias objektas, į kurį bus nukreipiama transporto priemonė, esant vienodiems atstumams iki kelių skirtingų kito pakrovimo vietų, parenkama atsitiktiniu būdu, t. y. nėra taikomi prioritetiniai svoriai.

Transporto problemos dažniausiai yra sprendžiamos įvairiais matematiniais metodais, tačiau vieningo modelio, kuriame būtų galima adaptuoti specifinius ribojimus, nėra. Todėl daugelis tokio pobūdžio uždavinių yra sprendžiami kompleksiniu būdu, taikant klasikinio transporto uždavinio sąlygą, įvedant papildomus, atskirai problemai skirtus, specifinius ribojimus (Junevičius, Bogdevičius 2009). Daugelis mokslininkų savo publikacijose pateikia įvairius produkcijos skirstymo modelius, tačiau pasigendama detalaus skaičiavimų aprašymo bei kritinio požiūrio, kur būtų pateikta ne tik tam tikri netikslumai ir galimos skaičiavimo klaidos, bet ir modelio aprobavimo galimybės esant papildomiems ribo-

jimams. Be to, pastebima, jog didžioji dalis sukurtų metodų yra patikrinti mažą duomenų imtimį.

1.4. Pirmojo skyriaus išvados

1. Europos šalių iniciatyvos atnaujinti automobilių parką ir įvairių įgyvendintų projektų, skirtų naujų gamyklų steigimui bei efektyvesniam pagamintos produkcijos skirstymui, kiekis įrodo šio sektoriaus svarbą Europos Sąjungos kontekste, tačiau ganėtinai didelis tuščios ridos faktorius byloja, jog vien tik šių priemonių nepakanka, todėl siekiant sumažinti neigiamą poveikį aplinkai makro lygiu, būtina ieškoti alternatyvių sprendimų.

2. Atlikta atskirų automobilių gamintojų produkcijos skirstymui taikomų metodų ir geros praktikos pavyzdžių analizė parodė, jog daugelio koncernų logistinės veiklos efektyvumas matuojamas išmetamų CO₂ dujų kiekiu, kuris nustatomas pagal transportavimo atstumą, tenkantį vienam produkcijos vienetui, todėl didžioji dalis strateginių sprendimų yra nukreipti didesniu pakrovimo faktoriumi pasižyminčių transporto rūšių (geležinkelio bei jūrų) panaudojimo link.

3. Atlikus mokslinės literatūros analizę galima teigti, jog nėra konkretaus modelio, leidžiančio nustatyti atskirų pramonės šakų produkcijos eksporto ir importo jungtis bei užtikrinti sklandų tiekimo procesą, mažinant transporto išteklių bei infrastruktūros poreikį.

Automobilių gamintojų tiekimo tinklų modeliavimas

Remiantis automobilių dalių standartizavimo bei skirtingų prekių ženklų produkcijos gamybos pavyzdžiais, šiame skyriuje suformuota logistinio bendradarbiavimo koncepcija. Atsižvelgiant į pirmajame skyriuje pateiktą pagamintų automobilių skirstymo sistemos procesų eiliškumą, sudarytas vieningas produkcijos skirstymo modelis ir nustati jam turintys įtakos veiksniai. Skyriaus pabaigoje pateikiamas naujų automobilių tiekimo į skirstymo centrus ryšio nustatymo algoritmas bei hipotetinis produkcijos tiekimo ir transporto srautų modelis. Šio skyriaus medžiaga buvo publikuota straipsniuose: Vilkelis, Jakovlev (2013), Vasilis Vasiliauskas *et. al.* (2010), Vilkelis (2011).

2.1. Logistinio bendradarbiavimo koncepcija

Anksčiau automobiliai išsiskirdavo unikaliomis, tam tikro gamintojo produkcijai skirtomis dalimis ir komponentais, kurie būdavo išskirtiniai prekinio ženklo atributai. Tačiau plečiantis prekybos geografijai, gaminiami patekus į skirtingas rinkas, reikėjo užtikrinti ir reikalingų atsarginių dalių paklausą, nes tarkim JAV surinktų automobilių dalys negalėjo būti pakeistos alternatyviomis Japonijoje gaminamų automobilių dalimis. Laikui bėgant, tai tapo itin didele problema, kuri

mažino importinės produkcijos patrauklumą. Dėl šios priežasties daugelis gamintojų pradėjo taikyti produkto sudedamųjų dalių standartizavimo procesą, kuris prasidėjo nuo vienos važiuoklės panaudojimo dviem ir daugiau tos pačios klasės modelių (Christensen 2011; Güttner, Dittrich 2008). Dabartinė standartizavimo koncepcija paremta didelės apimties įvairių komponentų kūrimu, kurie gali būti diegiami daugelyje automobilių. Pavyzdžiui, bendra Hella, Behr ir Plastic Omnium įmonė HBPO, BMW Mini ir Audi A4 modeliams tiekia priekinės automobilio dalies komponentus: aušinimo sistemas, apšvietimo dalis, variklio gaubtus su užraktais, garso signalus, bamperius, aerodinaminius elementus ir saugumo sistemas (Richter, Hartig 2007). Standartizavimo procesas įgavo nemažą pagreitį ir ilgainiui išplėtė bendradarbiavimo galimybes ne tik tarp atskirų dalių, bet ir tarp pačių automobilių gamintojų, kaip antai BMW kartu su PSA koncernu pagamino 4 cilindrų variklį, kuris vėliau buvo naudojamas abiejų gamintojų automobiliuose (Gromer 2006). Esant didelėms projektavimo bei techninėms išlaidoms, kuriant visiškai naują modelį, daugeliu atvejų gamintojams yra efektyviau pateikti į rinką produktą su nežymiais išoriniais pakitimais, tačiau skirtingais prekiniais ženklais. Pramonėje minėtas reiškinys apibūdinamas prekinio ženklo inžinerijos (angl. *Badge Engineering*) terminu. Pastaroji strategija dažniausiai yra naudojama, siekiant minimaliomis investicijomis padidinti produkcijos asortimentą (Becker 2007).

Dar visai neseniai skirtingi gamintojai riboja automobilio kūrimo, žaliavų parinkimo, dažymo, surinkimo procesus bei tam tikrų pasirinktų elementų: variklių, pavarų dėžių ir išmetimo sistemų gamybos funkcijas, perleisdami jas rangovams. Šiandien visos pridėtinę vertę kuriančios paslaugos: lizingas, naujų ir dėvėtų automobilių prekyba, transporto parko valdymas, papildomas finansavimas ar draudimas, yra pagrindinė automobilių gamintojų strateginė kryptis. Teigiama, jog tik dizaino skyriai, kurie suteikia gamintojo produkcijos unikalumą, liks gamintojo rankose, kadangi dažnai net automobilio charakterį atspindintis variklis įsigyjamas iš konkurentų. Net jei daugeliu atvejų galutinis surinkimas vyksta automobilių gamintojo gamykloje, praktikoje jau egzistuoja pavyzdžių, kai automobilius gamina pirmos pakopos tiekėjai ar įgalioji gamintojai (Richter, Hartig 2007; Güttner, Dittrich 2008). Pavyzdžiui, nepriklausomas automobilių gamintojas MAGNA Steyer, Graco mieste, Austrijoje, gamina tokių skirtingų gamintojų, kaip Daimler, Saab, BMW, Chrysler, Jeep ir Peugeot produkciją.

Logistinių procesų standartizavimas ir bendradarbiavimas skirstant skirtingų automobilių gamintojų produkciją – tai sritis, kuri dar nėra plačiai paplitusi, kadangi ne visi tos pačios pramonės šakos atstovai yra suinteresuoti atskleisti savo tiekimo strategijos savitumą ir specifiką (Menzel *et al.* 2010). Mokslinėje literatūroje išskiriama, jog logistinio bendradarbiavimo idėjos vystymui dažnai trukdo konkurenciniai barjerai, nevienodi produkcijos pakrovimo, tvirtinimo ir iškrovimo standartai bei tam tikri marketingo priemonių ribojimai, pavyzdžiui, vieno-

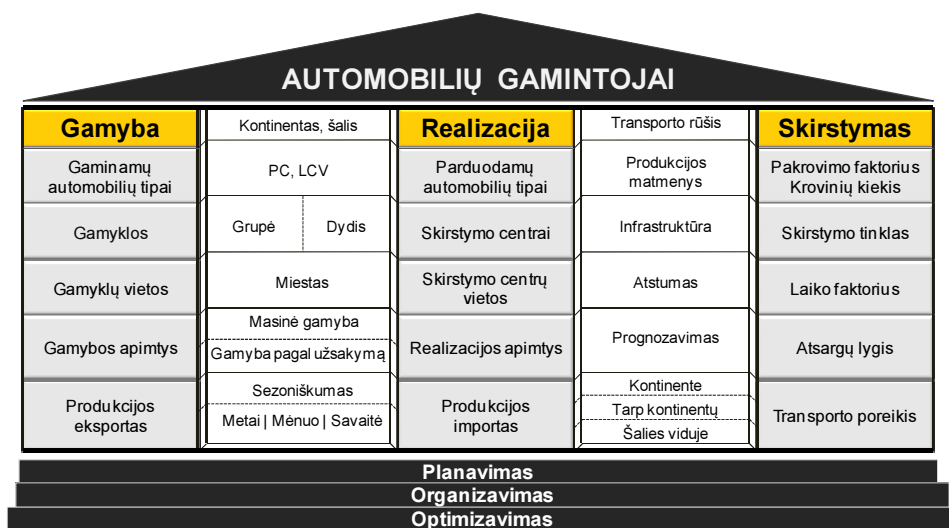
je transporto priemonėje vežti skirtingų prekių ženklių produkciją (Chang *et al.* 2012). Todėl sprendžiant tokio pobūdžio problemas, visų pirma kiekviena šalis turėtų aiškiai suprasti vieningo produkcijos skirstymo perspektyvas ir galimą naudą (Lai, Wong 2012; Fries *et al.* 2010). Bendros logistinės koncepcijos įgyvendinimui reikia nemažai laiko tam, kad būtų pasiektas teigiamas efektas: mažesnis atsargų, žalių, grąžinamos produkcijos kiekis bei tiekimo tinklui reikalingų resursų poreikis, kadangi daugeliu atvejų į jau nusistovėjusią ir veikiančią logistikos operatoriaus ar produkcijos gamintojo tiekimo grandinę sunku integruoti naujus procesus, kurie nėra patikrinti kaip gerai funkcionuojantys elementai (Lai, Wong 2012).

Gamintojų produkcijos skirstymas yra apribotas ilgalaikėmis sutartimis, todėl daugeliu atvejų susiduriama su atitinkamomis kliūtimis, dėl kurių nepavyksta optimizuoti tam tikrų logistinių operacijų bei užtikrinti tiekimo grandinės efektyvumo (Cardoso *et al.* 2013). Siekiant atlikti gamintojų skirstymo tinklo pakeitimus, daugiausia laiko užima parinkimas šio tinklo infrastruktūros, kurios pagrindinę vertinimo skalę apima: gamybos pajėgumai, žaliavų tiekimas, pagrindinės transportavimo linijos, transporto priemonių parinkimas ir pristatymo klientui laikas (Georgiadis *et al.* 2011; Moll *et al.* 2012). Kiekvienas pokytis logistinėje grandinėje turi įtakos ne tik importo ir eksporto srautams, bet ir vidiniams gamintojo procesams. Jei gamybos apimtys per metus padidėja 20 proc. nei buvo iš anksto suplanuota, tai pasirinkto skirstymo tinklo infrastruktūros pajėgumai turi garantuoti nepertraukiamą produkcijos tiekimą galutiniam vartotojui. Priešingu atveju gamintojas patirs milžiniškus kiekybinius bei kokybinius nuostolius. Kai gamintojo produkcija turi pasiekti tūkstančius klientų iš skirtingų gamybos vietų, logistiniams sprendimams priimti reikalingos atitinkamos priemonės, pateisinančios visas galimybes maksimaliai išnaudoti kiekvieną skirstymo tinklo infrastruktūros elementą.

Tiekimo grandinių sudėtingumas dažniausiai priklauso nuo produkcijos apimčių, geografinių subtilybių, logistinės infrastruktūros elementų, kaip antai: skirtingų transporto rūšių, terminalų bei uostų kiekio (Sivilevičius 2011). Nustatyti esamas skirstymo tinklo problemas: tuščia transporto rida, nepilnas pakrovimas, sandėliuojamos produkcijos perviršis, didelis žalių faktorius ir kt. – tai pirmas žingsnis bendro koncepcijos tikslo formavimui. Dažniausiai logistinio bendradarbiavimo modeliai yra aprašomi tada, kai jie būna pritaikyti praktikoje ir išsiskiria savo funkcionalumu, priešingu atveju lieka tik koncepcija popieriuje (Li *et al.* 2009). Todėl kuriami sprendimai turi remtis geros praktikos pavyzdžiais bei pagrįsti konkrečioje pramonės šakoje esančiais ribojimais.

Sudarant vieningą skirstymo tinklo struktūrą ir nustatant technologinius procesus, remiantis pirmame skyriuje atlikta literatūros analize, disertacijoje suformuluota automobilių pramonei būdinga pagamintos produkcijos tiekimo sistema ir ją sudarantys funkciniai elementai. 2.1 paveiksle yra pateikta skirstymo

tinklo, jungiančio automobilių gamintojų tiekimo kanalus, komponentų struktūrinė schema, susidedanti iš atskirų gamintojų produkcijos gamybos, realizacijos bei skirstymo dalių, kurios vėliau naudojamos planavimo, organizavimo ir optimizavimo procesuose.



2.1 pav. Naujų automobilių skirstymo tinklo komponentų struktūrinė schema

Fig. 2.1. Flowchart of distribution network components of new vehicles

Atsižvelgiant į anksčiau apibūdintą prekinio ženklo koncepciją, kuri automobilių pramonėje yra traktuojama kaip išimtinis bendros kelių gamintojų gamybos atvejis, disertacijoje atliekamo tyrimo pagrindu autorius suformulavo naują terminą, kuris ateityje būtų taikomas apibūdinti pagamintos produkcijos skirstymo inžinerinius sprendimus. Prekinio ženklo tiekimo tinklo inžinerija (angl. *Badge Supply Network Engineering*) – tai terminas, apibrėžiantis vieningą pagamintos produkcijos skirstymo tinklą, kuriame skirtingi gamintojai savo produkcija aprūpina tikslines rinkas. Pagal šią koncepciją skirstymo tinklo dalyviams turi būti sudarytos vienodos produkcijos pakrovimo, transportavimo, iškrovimo bei sandėliavimo sąlygos vieningame skirstymo bei tarpinių centrų tinkle. Pagrindinis uždavinys – užtikrinti transporto resursų pritraukimą prie gamintojų skirstymo arterijų, o integruojant skirtingas transporto rūšis minimizuoti regioninį krovinį netolygumą, tuščios ridos rodiklius, užtikrinti maksimalų pakrovimo faktorių ir tuo pačiu sumažinti resursų paklausą.

2.2. Europos automobilių gamintojų produkcijos paklausos nustatymas bei tikslinių rinkų analizė

Įvertinus tai, jog automobilių pramonėje sėkmingai bendradarbiaujama įvairiuose gamybos procesuose, pradedant nuo dalių standartizavimo ir baigiant skirtingų gamintojų produkcijos surinkimu vienoje gamykloje, daroma prielaida, jog automobilių gamintojai taip pat yra pasiruošę kartu organizuoti ir pagamintos produkcijos skirstymą. Remiantis šiuo spėjimu, disertacijoje sudarytas vieningas, tam tikrus Europos regionus jungiantis gamyklų bei realizacijos rinkų skirstymo centrų (toliau DC) tinklas, apimantis tokias šalis, kaip Austrija, Belgija, Čekija, Vokietija, Ispanija, Prancūzija, Didžioji Britanija, Vengrija, Italija, Nyderlandai, Lenkija, Portugalija, Rumunija, Slovakija, Slovėnija, Danija, Šveicarija ir Bulgarija. Pastarosiose trijose šalyse automobiliai nėra gaminami, tačiau jos išsiskiria gerai išvystyta specifinių terminalų, skirtų automobilių perkrovimui bei sandėliavimui, infrastruktūra ir tam tikrais geografiniais transporto ribojimais, kurie detalizuojami 3.1 poskyryje.

Kadangi vieningos informacijos apie tai, kiek ir kur kiekvienas gamintojas turi gamyklų bei koks tų gamyklų gamybinis pajėgumas, nėra, todėl sudarant gamyklų geografinį žemėlapi bei nustatant gamintojus ir jų gamyklų pasiūlos apimtį, buvo naudojami 2009 m. pateikti tarptautinių asociacijų ACEA (2010), OICA (2010), ECG (2008) bei atskirų gamintojų metinių veiklos ataskaitų (toliau AGMVA) duomenys. Analizuojant skirtingus šaltinius pastebėta, jog ne visa informacija sutampa, todėl prioritetas buvo teikiamas gamintojo informacijai.

Duomenys buvo susisteminti, išskiriant gamintojo prekinį ženklą, šalį ir miestą, kuriame dislokuota gamykla, per metus pagaminamų automobilių kiekį bei gamyklų tipus. Sudarant gamintojų ir jų gamyklų sąrašą nebuvo įtraukti sportinių automobilių gamintojai: Ferrari, Maserati, Bugatti, Lamborghini, Aston Martin, itin prabangių automobilių gamintojai: Rolls Royce, Bentley bei gamyklos, kurios per metus gamina mažiau nei 10 000 automobilių. Tačiau reikia pastebėti, jog tokių gamyklų nėra daug. Galima išskirti Suzuki gamyklą Ispanijoje, Linares mieste, kuri per 2009 metus pagamino 550 automobilių, Volkswagen gamyklą Vokietijoje, Dresdene – 4 800 automobilių ir Renault gamyklą Prancūzijoje, Diepe mieste, gaminančią 4 036 automobilių per metus. Kitų gamyklų metinę produkciją sudaro nuo 10 000 iki 740 000 automobilių. Koncernui Fiat priklausantis Lancia prekinis ženklas nėra įtrauktas į modelį dėl to, kad didžioji dalis šių automobilių yra parduodama vietinėje Italijos rinkoje, o eksportas sudaro labai mažą dalį.

Nustatant Europos automobilių pasiūlą kiekvienoje gamykloje, papildomai buvo išskiriami jose surenkamų automobilių tipai, t. y. lengvieji automobiliai (toliau PC) ir komercinės paskirties lengvieji automobiliai (toliau LCV). Re-

miantis šiais duomenimis, vėliau bus nustatomas pakrovimo faktorius į skirtingas transporto rūšis. Kadangi tam tikros gamyklos turi specifinius bruožus, jiems išskirti buvo suformuotos keturios grupės:

1. VGP – gamykla, kurioje gaminama vieno gamintojo produkcija;
2. KGP – gamykla, kurioje gaminama kelių gamintojų produkcija;
3. KGPB – gamykla, kurioje gaminama kelių gamintojų produkcija pagal prekinio ženklo inžinerijos koncepciją;
4. NGP – nepriklausoma gamykla, kurioje gaminama skirtingų gamintojų produkcija.

D priede pateikta išsami informacija apie gamintojus, jų gamyklų vietas, grupes, surenkamų automobilių tipus bei pagamintos produkcijos apimtis per metus. Į vieningą gamyklų tinklą, išskiriant jų specifinius bruožus, iš viso buvo įtrauktos 83 gamyklos (2.1 lentelė).

2.1 lentelė. Automobilių gamyklų klasifikacija ir jose surenkamų automobilių tipai
Table 2.1. Classification of automotive factories and types of assembled cars

Gamyklų grupės	PC	LCV	PC ir LCV	VISO
VGP	49	4	10	63
KGP	9	2	5	16
KGPB	1	1	1	1
NGP	1	0	0	3
VISO	60	7	16	83

Nustatant Europos šalių naujų automobilių paklausą, t. y. kiek 2009 metais pasirinktose šalyse buvo realizuota produkcijos, buvo apdorojami duomenys, susiję su naujų automobilių pardavimo apimtimis. Kadangi vieningos informacijos, kurioje atsispindėtų kiekvienoje šalyje parduodamų naujų automobilių kiekiai pagal skirtingus gamintojus nėra, teko vadovautis asociacijos ECG bei specialiu autoriaus paklausimu asociacijos ACEA atsiųstais papildomais INTERO (InterAutoNews Data Book – Intero 2009) duomenimis.

Europa yra svarbiausias kontinentas automobilių pramonės atžvilgiu. Tai įrodo išskirtinai didelis gamybos pajėgumas. 2009 m. Europos Sąjungoje buvo pagaminta apie 14 mln. automobilių, tai sudarė apie 30 proc. viso pasaulio produkcijos. Ne ką prastesni ir realizavimo rodikliai, kai tais pačiais metais vienas iš keturių parduodamų naujų automobilių pasaulyje buvo nupirtas būtent šiame regione (ACEA 2010). Didelę paklausą Europoje turinti Japonijos gamintojų produkcija dažniausiai yra importuojama iš kitų kontinentų. Tokių gamintojų kaip MAZDA, LEXUS bei SUBARU gamyklų Europoje nėra, todėl vien tik šių gamintojų importas sudarė apie 267 tūkst., automobilių.

Analizuojant naujų automobilių importo ir eksporto srautų rinkas, pastebėta, jog daugelyje šaltinių pateikta informacija paremta tam tikrais tarifais, charakterizuojančiais motorinės transporto priemonės tipą bei paskirtį, nurodant šios prekės kodą (8703). Todėl pagal tai sunku vertinti – naujas ar vis dėlto dėvėtas automobilis. Susisteminus turimus duomenis, būtų galima numatyti apytiksles produkcijos importo iš kitų kontinentų į Europą apimtis, tačiau dėl duomenų, pagal kuriuos būtų galima išskirti produkcijos eksporto iš Europoje esančių gamyklų kryptis trūkumo, buvo apsiribota tik vidiniais prekių mainais tarp Europos šalių, kurios buvo minimos poskyrio pradžioje. Apdoroti duomenys parodo, jog didžioji dalis automobilių parduodami toje pačioje valstybėje, kurioje yra gaminami, kaip antai: Čekijoje surenkamų Škoda markės automobilių pardavimai toje šalyje sudaro apie 32 proc., Vokietijos gamintojai – apie 42 proc., o tuo tarpu Italijoje beveik pusė pagamintų automobilių yra realizuojami savoje rinkoje (2.2 lentelė).

2.2 lentelė. Susistemintų automobilių gamybos bei pardavimo rezultatai pagal šalis bei duomenų nuokrypis

Table 2.2. Results of systematized car production and sales by country and deviation of the data

Šalis	Pagaminta	Vietinė produkcija	Kontinentinis importas	Unikalūs pardavimo duomenys	ACEA pardavimo duomenys	Duomenų nuokrypis, %
Austrija	59 578	928	50 550	338 741	344 985	1,8
Belgija	521 640	19 725	59 055	568 257	580 142	2,0
Čekija	982 566	54 968	25 502	174 397	180 715	3,5
Vokietija	5 156 336	1 639 131	372 939	3 905 941	3 977 242	1,8
Ispanija	2 234 533	147 720	137 626	948 948	1 059 299	10,4
Prancūzija	2 010 695	716 987	271 488	2 628 775	2 674 988	1,7
D. Britanija	1 073 148	214 881	331 757	2 095 066	2 180 316	3,9
Vengrija	277 093	6 173	14 471	71 490	70 808	1,0
Italija	684 380	328 108	281 962	2 210 859	2 335 310	5,3
Nyderlandai	50 937	2 409	68 582	414 100	438 427	5,5
Lenkija	800 186	24 787	65 273	360 607	360 438	0,1
Portugalija	121 419	1 743	34 094	197 732	199 914	1,1
Rumunija	296 105	41 917	22 665	176 213	144 281	22,1
Slovakija	430 316	4 431	14 289	77 921	90 426	13,8
Slovėnija	212 749	1 822	9 907	59 703	62 393	4,3
Danija	0	0	27 387	128 530	127 423	0,9
Šveicarija	0	0	52 963	301 514	289 159	4,3
Bulgarija	0	0	5 617	26 649	29 247	8,9
						$\bar{x}=5,3\%$

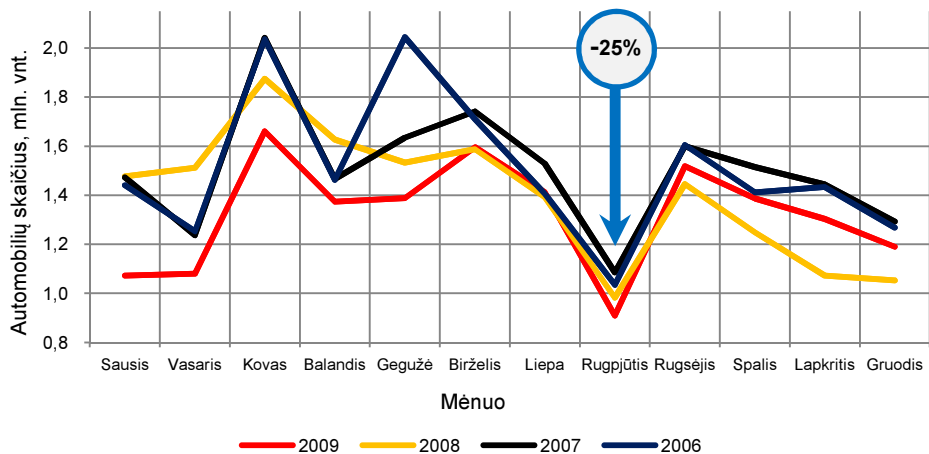
Kadangi tikslų, viešai skelbiamų duomenų, reikalingų automobilių pasiūlos ir paklausos nustatymui nėra, palyginus skirtinguose šaltiniuose pateiktą informaciją buvo išskirti unikalūs duomenys. Tačiau nustatytas automobilių parda-

vimo apimtis palyginus su vieno iš panaudotų šaltinio, šiuo atveju ACEA, informacija, pastebimas 5,3 proc. vidutinis nuokrypis. Toks duomenų neatitikimo vidurkis nėra laikomas kritiniu, todėl galima teigti, jog statistiniais duomenimis galima pasikliauti.

Kaip jau minėta 1.1 ir 1.2 poskyriuose, statistinė ir viešai skelbiama informacija daugeliu atvejų skiriasi nuo realios situacijos. Šiuo atveju pardavimo duomenų skirtumas, kuris yra pateiktas 2.2 lentelėje, susiformavo dėl šių priežasčių:

- duomenys apdoroti, remiantis skirtingais informacijos šaltiniais;
- buvo eliminuoti tam tikri automobilių gamintojai;
- dėl duomenų stokos apie importuojamų automobilių kiekį iš ne Europos Sąjungos šalių;
- galimi statistinių duomenų netikslumai, taikant skirtingas skaičiavimo metodikas arba pateikiant netikslus statistinius duomenis.

Kadangi nėra viešos informacijos, kurioje atsispindėtų iš kokių kontinentinių gamyklų yra aprūpinamos tikslinės rinkos, priimama sąlyga, jog sudarytame modelyje automobiliai į realizacijos rinkas yra skirstomi iš visų tam tikro gamintojo gamyklų pagal nustatytus kiekvienos jų stūmimo koeficientus. Nustačius Europos automobilių produkcijos paklausą bei gamyklų pasiūlą pasirinktose šalyse, galima formuoti atskirų gamintojų tiekimo kanalus. Tačiau remtis vien šiais rezultatais, nustatant kiekvieno mėnesio produkcijos realizavimo apimtį, būtų netikslinga, kadangi neatspindėtų sezoniškumo faktorius bei pardavimų dinamiskumas.



2.2 pav. Naujų automobilių pardavimo apimčių svyravimai Europoje 2006–2009 m.

Fig. 2.2. Fluctuations of new car sales in Europe in 2006–2009

Išanalizavus Europos automobilių gamintojų asociacijos ACEA 2006–2009 duomenis, pastebimas realizuojamų automobilių svyravimo tendencingumas, kai liepos–rugsėjo mėnesiais apimtys vidutiniškai nukrenta 25 proc., (2.2 pav.). Minėtas nepastovumo faktorius taip pat turi didelę reikšmę ir krovinių srautams, kai prieš įvairias šventes, gamyklų atostogas, baigiantis kalendoriniams metams, ar ketvirtiniam laikotarpiui, ženkliai padidėja transporto poreikis, o vėliau susidaro vežamos produkcijos vakuumas.

Įvertinus ACEA pateiktus duomenis apie kiekvieną mėnesį parduotų automobilių skaičių, atitinkamose šalyse buvo nustatyti sezoniškumo koeficientai t_{km} , kurie apibrėžia tam tikro laikotarpio D_m , šiuo atveju kiekvieno mėnesio, įtaką metiniams rezultatams. Šie koeficientai padauginami iš anksčiau susistemintų metinių produkcijos paklausos reikšmių D_a ir nustatomas kiekvieno mėnesio paklausos dinamiškumas, kuris apskaičiuojamas pagal šias formules:

$$D_1 = \lfloor D_a \cdot t_{k1} \rfloor, \quad (2.1)$$

$$D_2 = \lfloor (D_a \cdot t_{k2}) + (D_a \cdot t_{k1}) - D_1 \rfloor, \quad (2.2)$$

$$D_{12} = \left\lfloor \begin{aligned} &(D_a \cdot t_{k12}) + (D_a \cdot t_{k1}) - D_1 + (D_a \cdot t_{k2}) - D_2 + \dots + \\ &+ (D_a \cdot t_{k10}) - D_{10} + (D_a \cdot t_{k11}) - D_{11} \end{aligned} \right\rfloor. \quad (2.3)$$

Gauta reikšmė yra apvalinama į mažesnę pusę, o liekana pridėjama prie kito mėnesio. Sudėjus 12 mėnesių apskaičiuotas reikšmes, bendra suma negali skirtis nuo jau prieš tai nustatytos visų metų paklausos:

$$D_a = \sum_{m=1}^{12} D_m. \quad (2.4)$$

Kadangi pagrindinė uždavinio sąlyga, jog gamyklos gamina tiek produkcijos, kiek parduodama, pasiūla yra nustatoma vadovaujantis paklausos rodikliais atskirose šalyse. Kitas žingsnis – gautus dinامينius parametrus, kurie yra susieti su tam tikro gamintojo prekiniu ženklu, priskirti prie atskirų gamyklų. Šiam tikslui pasiekti, vadovaujantis OICA bei AGMVA pateikta informacija, kiekvieno automobilių gamintojo pagamintos produkcijos apimtys buvo išreiškiamos tam tikra proporcija ir nustatyti atskirų gamyklų gamybinį našumą atspindintys stūmimo koeficientai. Pavyzdžiui, vieno gamintojo automobiliai surenkami penkiose gamylose, t. y. Austrijoje, Graco mieste $F_{o1} = 45\,973$, Vokietijoje, Miunchene $F_{o2} = 193\,633$, Leipce $F_{o3} = 143\,149$, Dingolfinge $F_{o4} = 230\,279$ ir Regensburge $F_{o5} = 261\,486$ automobiliai. Iš viso 2009 m. šiose gamylose buvo pagaminta 874 520 šios markės automobilių. Turint duomenis, kiek kiekvienoje gamykloje buvo pagaminta automobilių, yra nustatomi stūmimo koeficientai FS_{kx} , kurie apskaičiuojami vieno gamintojo atskiroje gamykloje pagamintos pro-

dukcijos kiekį F_{ox} padalinus iš visų to paties gamintojo gamyklose surinktų automobilių skaičiaus per tą patį laikotarpį:

$$FS_{kx} = \frac{F_{ox}}{\sum_{x=1} \sum_{o=1} F_{ox}}. \quad (2.5)$$

Šiuo atveju atskirų gamyklų produkcijai yra nustatomi tokie stūmimo koeficientai FS_{kx} : iš Graco gamyklos automobilių stūmimo koeficientas FS_{k1} bus lygus 0,053, iš Miuncheno $FS_{k2} = 0,221$, iš Leipcigo $FS_{k3} = 0,164$, iš Dingolfingo $FS_{k4} = 0,263$, iš Regensburgo $FS_{k5} = 0,299$. Visų koeficientų suma turi būti lygi 1. Pagal šiuos koeficientus vėliau yra nustatoma, kiek automobilių vienetų iš kiekvienos gamyklos yra importuojama į modelyje įtrauktas paklausos šalis, koeficientą FS_{kx} dauginant iš toje šalyje parduotų D_a , konkretaus gamintojo, automobilių skaičiaus per metus, o gautas reikšmės suapvaliname iki sveikojo skaičiaus. Remiantis susistemintais duomenimis, 2009 m. Austrijoje iš viso buvo parduota 12 146 šio gamintojo automobilių. Padauginę šį skaičių iš gamyklų koeficientų, gauname rezultatą (gauta reikšmė suapvalinama iki sveikojo skaičiaus), kuris parodo kiek šio gamintojo gamyklos atskirai pagamino automobilių Austrijos rinkai. Konkrečiu atveju Graco gamykla pagamino 644, Miuncheno – 2 684, Leipcigo – 1 992, Dingolfingo – 3 194 ir Regensburgo – 3 632 automobilių. Kadangi Graco gamykla yra Austrijoje, šis produkcijos kiekis nėra įtrauktas į tolimesnius skaičiavimus, o rezultatas priskiriamas prie vietinei rinkai skirtos produkcijos. Pagal šį principą buvo nustatyta, koks produkcijos srautas iš kiekvienos gamyklos, esančios naujų automobilių skirstymo tinkle, bus transportuojamas į tikslines paklausos rinkas (2.5 pav.). Projektuojamame produkcijos srautų modelyje vietinės produkcijos skirstymas iš gamyklų į pardavimo salonus nėra įtrauktas, tačiau tam, kad būtų galima išskirti šalies eksporto apimtį, buvo eliminuoti vidaus rinkai skirtų automobilių kiekiai.

2.3. Pakrovimo faktoriaus gamyklose nustatymas

Kai kuriuose moksliniuose tyrimuose bei atliktose studijose automobilių skirstymo procesas formuojamas atsižvelgiant į užsakytų automobilių modelių komplektacijas, spalvas, kėbulo tipus ir pan. (Wagenitz 2007; InTerTrans 2011; Eskigun *et al.* 2005; Liao *et al.* 2012). Tokio pobūdžio uždaviniuose kartu yra sprendžiama ir dalių pristatymo į surinkimo linijas, gamybos eiliškumo bei pagamintos produkcijos tiekimo į tikslines rinkas problemos. Tačiau kompleksinis sprendimas įprastai apsiriboja ties vienu gamintoju arba konkrečia gamykla. Pagal suformuotą logistinio bendradarbiavimo koncepciją, disertacijoje nagrinėjamas vieningas pagamintos produkcijos skirstymo tinklas, jungiantis skirtingų

gamintojų gamyklas bei atskirų šalių skirstymo centrus. Todėl nustatant pakrovimo faktorių į skirtingas transporto priemones, bus atsižvelgiama tik į gamyklų surinkimo linijose gaminamus skirtingo kėbulo tipo automobilius, tarp kurių ne tik lengvieji PC, bet ir LCV. Siekiant šio tikslo kiekvienoje gamykloje buvo nustatyti pagamintos produkcijos pakrovimo į transporto priemonę faktoriai. Kadangi modelyje esančios gamyklos nesiriboja su laivų švartavimosi krantinėmis, didesnis dėmesys bus skiriamas sausumos transporto priemonių techniniams parametrams ir pagal juos bus nustatomi pakrovimo gamyklose ribojimai.

Automobilvežiai yra specifinės konstrukcijos transporto priemonės, kuriais galima transportuoti tik automobilius. Jie skirstomi pagal struktūrą, priekabos tipą ir pakrovimo faktorių. Išskiriamos dvi struktūros: klasikinė ir specifinė. Klasikinio automobilvežio konstrukciją sudaro ilga, žemu rėmu sunkvežimio važiuoklė, ant kurios yra pritvirtinamas dviejų aukštų antstatas. Prie sunkvežimio kabinama priekaba. Specifinės konstrukcijos automobilvežį sudaro vilkikas su trumpa ratų baze ir balnu, prie kurio pritvirtinamas antstatas su ilga dviejų arba trijų ašių priekaba. Esminis skirtumas nuo klasikinės struktūros yra tai, kad vilkiką galima atkabinti ir panaudoti kitų krovinių vežimui, pavyzdžiui, prisikabinti tentinę puspriekabę. Automobilvežių priekabos, priklausomai nuo ratų skaičiaus ant ašių, skirstomos į du tipus: viengubų ir dvigubų ratų priekabą. Viengubų ratų priekabos ašys išlenktos U forma žemyn, todėl apatinė platforma, ant kurios yra kraunami automobiliai yra sąlyginai žemai. Turint omenyje, kad pakrauto automobilvežio aukštis su kroviniu daugelyje Europos šalių negali viršyti 4 m., tai yra didelis privalumas. Trūkumas – kraunami automobiliai turi tilpti tarp priekabos ratų, todėl norint vežti platesnes mašinas susiduriama su pakrovimo problemomis. Tačiau priekabos su dvigubų ratų konstrukcija ašių galuose yra universalesnės, ant kurių galima pakrauti didesnių išmatavimų automobilius.

Europoje automobilių vežimui geležinkelių transportu, skirtingai nei JAV ar Rusijoje, naudojami atvirų konstrukcijų vagonai (Sanz *et al.* 2007). Būtent dėl šios priežasties gamintojai patiria didelius kokybinius transportavimo nuostolius. Dėl savitos konstrukcijos vagonai nėra tokie universalūs kaip automobilvežiai, kadangi kai kurių vagonų antro aukšto negalima nuleisti įžambiai, be to, nėra verstukų, leidžiančių geriau išnaudoti konstrukcinį tūrį. Pasirenkant vagonų modelį, pagal kurį bus apskaičiuojamas pakrovimo faktorius gamyklose, buvo analizuojamas trijų Vokietijos geležinkelių transporto įmonių BLG Autorail, DB Schenker, ARS Altmann turimas automobilių vagonų parkas.

Automobiliams vežti skirti vagonai yra grupuojami į tokius tipus:

- dviejų aukštų dengtos konstrukcijos platforminis vagonas, skirtas vežti PC tipo automobilius;
- vieno aukšto atviros konstrukcijos platforminis vagonas, skirtas vežti LCV tipo automobilius;

- dviejų aukštų atviros konstrukcijos platforminis vagonas, skirtas vežti PC tipo automobilius;
- dviejų aukštų atviros konstrukcijos platforminis vagonas, skirtas vežti PC ir LCV tipo automobilius.

Dengtos konstrukcijos vagonų yra mažai, o jais dažniausiai transportuojami prabangūs automobiliai. Kadangi buvo numatyta, jog tokio tipo automobilių gamyklos nėra įtrauktos, vadinasi, šio tipo vagonų techninės charakteristikos nebus vertinamos nustatant pakrovimo faktorius. Vieno aukšto platforminiai vagonai dažniausiai yra naudojami transportuoti automobilius, kurių aukštis yra didesnis nei 2 m. Senesnio modelio dviejų aukštų platforminiai vagonai, kurių pirmojo aukšto grindys yra lygios, o antro aukšto pozicija fiksuota, yra pritaikyti tik PC tipo automobiliams transportuoti. Šiems vagonams pakrauti reikalinga dviejų aukštų rampa. Naujesnio modelio tokio tipo vagonų pirmo aukšto grindys yra išlenktos U forma į apačią, kad pirmame aukšte būtų galima pakrauti aukštesnius automobilius. Be to, galima reguliuoti antro aukšto poziciją ją pakeliant arba nuleidžiant. Šie vagonai yra pakankamai universalūs ir gali vežti tiek PC, tiek LCV tipo automobilius.

Automobilių pakrovimo faktoriai atskirose gamyklose į automobilvežį bei vagoną buvo apskaičiuojami atsižvelgiant į šiuos parametrus:

- atskirų transporto priemonių konstrukcijos dalių ilgio ir aukščio matmenis;
- pakrovimo ir iškrovimo šalyje leistinus maksimalius krautos transporto priemonės ilgio bei aukščio ribojimus, tačiau neatsižvelgta į tranzitinių šalių leidžiamus maksimalius matmenis;
- gaminamų automobilių modelių išmatavimus;
- nustatytus ECG (2009) automobilių pakrovimo į atskiras transporto priemones reikalavimus.

Skaiciavimams atlikti buvo naudojama kompiuterinė grafikos programa „AutoCad 2009“, kurioje nubraižyti pasirinktas automobilvežio Kässbohrer Supertrans bei vagono Laaers Bauart 700.1 modelių brėžiniai. Pagal aukščiau išvardintus parametrus bei minėtų transporto priemonių konstrukcijų matmenis kiekvienoje skirstymo tinklo gamykloje buvo nustatytas pakraunamų automobilių kiekis.

Tokiu atveju, jei gamykloje yra gaminami PC ir LCV automobiliai, krovimo faktorius priklauso nuo to, kiek kiekvieno tipo automobilių yra pagaminama per metus. Pavyzdžiui, Vigo mieste esančioje PSA gamykloje per metus pagaminama 379 512 automobilių, iš kurių 299 030 PC ir 80 482 LCV tipo. Pagal pasirinkto automobilvežio modelį, įvertinus jo konstrukcines savybes ir automobilių išmatavimus buvo nustatytas pakrovimo faktorius. Šiuo atveju PC tipo automobiliams išvežti prireiks vidutiniškai 37 378, o LCV – 26 827 sunkvežimių. Atsižvelgiant į tai, šioje gamykloje buvo fiksuojamas vidutinis pakrovimo faktorius,

arba krovinio dydis, kuris yra lygus 6-iems automobiliams. Lygiai tokiu pačiu principu buvo nustatomas krovinų dydis ir į geležinkelio vagonus (E priedas).

Studijoje „The 3DayCar Logistics” akcentuojama, jog daugelis automobilių gamintojų neformaliu lygiu riboja savo produkcijos vežimą kartu su kito gamintojo (firminio ženklo) produkcija (Holweg *et al.* 2001). Šis ribojimas motyvuojamas skirtingais įvairių gamintojų transportavimo reikalavimais. Europos automobilių logistikos asociacijos ECG iniciatyva buvo sukurtos vieningos automobilių vežimo, tvirtinimo bei sandėliavimo taisyklės kelių, geležinkelių bei jūrų transportui. Tačiau pastebima, kad dar ne visi gamintojai patvirtino unifikuotus standartus. Įvairiose mokslinėse publikacijose, kuriose yra pateikiami transporto uždavinių sprendimai, formuluojama sąlyga, jog gamyklose yra gaminamas toks automobilių kiekis, kuris būtų lygus tam tikrų transporto priemonių pakrovimo faktoriui (Jin *et al.* 2008; Liao *et al.* 2010; Sadjadi *et al.* 2009). Taip siekiama išvengti galimai perteklinės produkcijos atsargų. Siekiant pagrįsti šią informaciją, autorius išsiuntė šios problemos formuluotę skirtingų automobilių gamintojų atstovams, kurie yra atsakingi už pagamintos produkcijos skirstymą. Susisteminus gautus atsakymus galima apibendrinti, jog pavienės produkcijos skirstymo problemos sprendžiamos skirtingai. Iš tam tikrų gamyklų, kurių produkcija skirstoma sausumos transportu, dažniausiai yra formuojami pilni kroviniai, o gamintojai, iš kurių gamyklų produkcija yra skirstoma naudojant jūrų transportą, pavienių automobilių skirstymui iš uosto įpareigoja samdomą vežėją užtikrinti išvežimą mažesniais sunkvežimiais arba kombinuoti pilną sunkvežimio pakrovimą su kitų gamintojų produkcija. Jei transporto įmonė tokios galimybės neturi, prieš pateikiant savo paslaugų įkainius, būtina įvertinti galimus papildomus kaštus, atsirandančius dėl nepilnai pakrautų transporto priemonių. Todėl galima teigti, jog konkurencingi tarifai gali būti pasiūlyti tuomet, kai būsimi ar esami partneriai efektyviai naudojo savo išteklius. Pastebima, jog gamintojams yra labai svarbus pristatymo laikas, todėl vežimo sutartyse numato tam tikrą laukimo laiką, per kurį vežėjas turi užtikrinti transporto priemonės atvykimą į pakrovimo vietą (problemos formuluotė ir rezultatai pateikiami B priede). Šiame modelyje produkcijos likučiai gamykloje yra traktuojami kaip pardavimo salonuose esantys kiekvieno gamintojo ekspozicijai ar parodoms skirti automobiliai, o iš gamyklų išvežama produkcija, kuri yra suskirstyta į krovinus – tai klientų užsakymus atspindinti produkcijos paklausa. Todėl dalinių krovinų vežimas nėra įtrauktas į produkcijos srautų modelį.

Reikalingų automobilvežių A arba vagonų W skaičius nustatomas tam tikru laikotarpiu atskiroje gamykloje pagamintos produkcijos apimtis S padalinus iš apskaičiuoto pakrovimo faktoriaus į transporto priemones LF_A ir LF_W . Gautas reikšmės apvaliname į mažesnę pusę, kadangi sąlygoje buvo numatyta, jog transporto priemonės iš gamyklų išvyksta pilnai pakrautos, o transportuojamos produkcijos kiekis yra lygus nustatytam pakrovimo faktoriui.

$$A = \left\lfloor \frac{S}{LF_A} \right\rfloor, \quad (2.6)$$

$$W = \left\lfloor \frac{S}{LF_W} \right\rfloor. \quad (2.7)$$

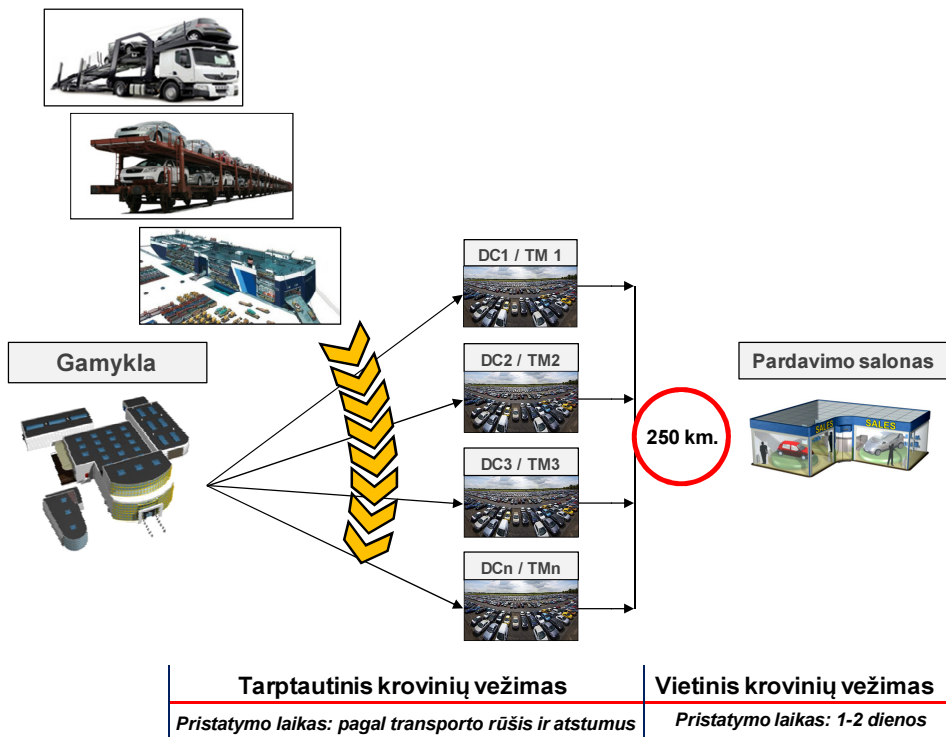
Pakrovimo faktorius į jūrinius RO-RO keltus, skirtus automobilių transportavimui trumpaisiais jūriniais maršrutais, negali būti didesnis nei 1 000 PC bei 500 LCV tipo automobilių. Tačiau atvykusi į uostą produkcija nebūtinai turi stovėti ir laukti, kol susidarys pilnas krovinys, o tai reiškia, kad keltais gali būti plukdomi ir mažesnės apimtys kroviniai, nevirsijantys nustatytų maksimalių pakrovimo ribų.

2.4. Naujų automobilių tiekimo į skirstymo centrus ryšio nustatymo algoritmo sudarymas

Galutiniam vartotojui nėra skirtumo, ar vieno gamintojo produkcija bus atvežta kartu su kito gamintojo. Todėl pirkėjo akimis nėra pagrindo siėti transporto priemonę prie produkcijos gamintojo, siekiant pabrėžti jo išskirtinumą ir tuo pačiu padengti papildomus kaštus, kurie atsiranda neracionaliai naudojant transporto išteklius. Kaip pavyzdį galima išskirti vartotojų elgesį maisto prekių parduotuvėse, kai suplanuotiems pirkiniams sudėti paimamas vežimėlis arba tam tikras krepšys. Šiuo atveju vežimėlis arba krepšys atstoja transporto priemonę, skirtą vežti skirtingų gamintojų produkciją. Jei pirkėjas kiekvienu atveju išsirinkęs vieno gamintojo produktą turėtų važiuoti prie kasos susimokėti ir vėl grįžti į prekių skyrių tam, kad nusipirktų kito gamintojo prekę, greičiausiai į parduotuvę, kurioje yra tokia tvarka, klientai antrą kartą nebeatvyktų. Todėl remiantis anksčiau minėtu pavyzdžiu, buvo sudarytas produkcijos skirstymo tinklas, kuriame skirtingi automobilių gamintojai yra vieningo tiekimo tinklo dalyviai, ne išskiriant jų savitumo, o transporto išteklių bei infrastruktūra nepriklauso nuo individualios tiekimo grandinės.

Bene kiekviena pramonės šaka susiduria su tam tikru nepastoviu produkcijos poreikiu, todėl natūralu, jog analogiškai kinta ir transporto infrastruktūros apkrova. Gamybos planai, sudaryti pagal automobilių pardavėjų pateiktas produkcijos realizavimo prognozes, ne visada atitinka faktinę visų metų situaciją. Globalios finansų krizės atveju 2008 metų gale dėl sumažėjusios realizacijos susikaupė perteklinė produkcija, kuri užpildė ne tik gamyklų sandėlius, bet ir sausumos terminalus bei uostus. Todėl gamybos intensyvumas bei logistinės grandinės turi būti itin lanksčios tam, kad galėtų greitai reaguoti ir prisitaikyti prie esamų rinkos pokyčių.

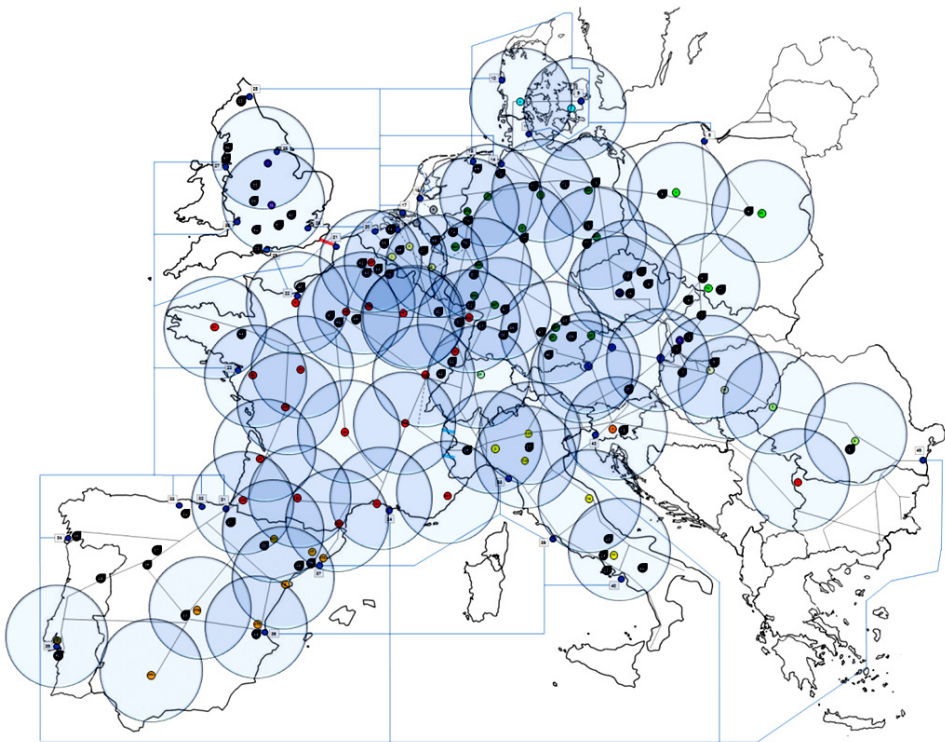
Automobilių pramonėje pagaminta produkcija yra apskaitoma pagal FIFO (angl. *First in first out*) metodą. Tai reiškia, kad pirmiau pagamintas automobilis pirmiau išvežamas iš gamyklos. Toks pats principas taikomas automobilių skirstymo ir tarpinių mazgų (toliau TM) centrams. Svarbiausias gamintojų bei logistikos operatorių uždavinys – kuo greičiau atlaisvinti sandėliavimo aikšteles, kad būtų galima priimti naują produkciją. Pagal nustatytus atsargų sandėliavimo reikalavimus, automobilis gamyklos teritorijoje gali stovėti ne daugiau trijų dienų, tuo tarpu DC nuo vienos iki dviejų dienų. Šis laiko tarpas yra skiriamas automobilio techninei diagnostikai, kuri yra skirta pašalinti gamyklinius trūkumus, vežėjų paieškai bei paruošimui eksploatuoti. Daugelis mokslininkų sprendami atsargų skirstymo galimybes taiko tą pačią sąlygą, jog atvykstančių transporto priemonių arba krovinių kiekis į DC ar TM yra fiksuotas ir nėra įvertinti važavimo laiko, infrastruktūros talpos bei kiti ribojimai, lemiantys galimus tiekimo sistemos sutrikimus.



2.3 pav. Produkcijos skirstymo procesas nuo gamyklos iki galutinio vartotojo
Fig. 2.3. Product distribution process from factory to end customer

Dažniausiai atskiri automobilių gamintojai, priklausomai nuo realizacijos šalies dydžio, pasirenka vieną arba kelis DC, esančius arčiausiai pagrindinių tame regione esančių pardavimo vietų. Kadangi formuojamame modelyje visi gamintojai yra vieningos sistemos dalyviai, todėl jų produkcija į tikslines rinkas bus skirstoma per visus tam tikrose šalyse pasirinktus DC. Tačiau tam, kad produkcijos skirstymo tinkle atsispindėtų dinaminiai parametrai, buvo įvertinti skirtingi kiekvieno DC infrastruktūriniai pajėgumai, kurie turi įtakos krovinių srautų traukos intensyvumui.

Formuojamame naujų automobilių skirstymo modelyje iš gamyklų atvykstanti produkcija į DC ir TM bus priskirta tarptautinių vežimų procesui, o tolimesnę produkcijos tiekimą iki galutinio vartotojo užtikrins vietiniai tam tikros šalies vežėjai (2.3 pav.). Tačiau dėl duomenų stokos apie įgaliojimų atstovybių pardavimams tinklą, buvo apsiribota tik tarptautiniu produkcijos tiekimu iki regioninio DC arba TM.



2.4 pav. Skirstymo centrų tinklas ir jų aprėpties zonos

Fig. 2.4. Network of distribution centers and their catchment area

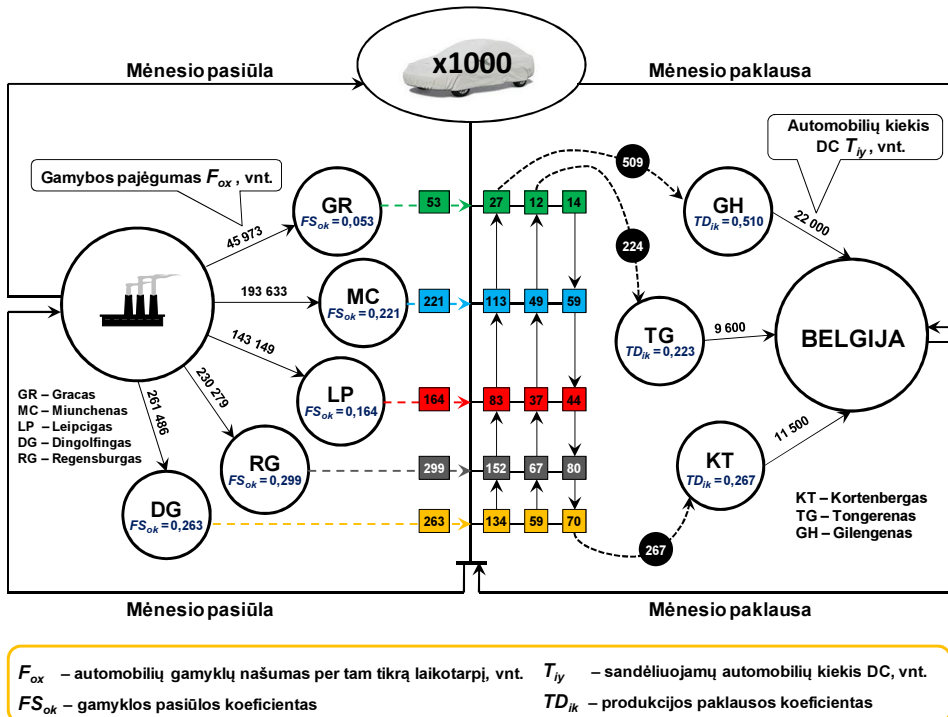
Remiantis Europos automobilių vežėjų asociacijos ECG (2008) duomenimis, buvo sudarytas DC tinklas. Prioritetai buvo skiriami DC, į kuriuos gali atvykti ne tik kelių, bet ir geležinkelių transporto priemonės. Daroma prielaida, jog nuo kiekvieno DC 250 km spinduliu yra pasiekiami visi toje teritorijoje esantys automobilių pardavimo salonai. Tačiau būtina pastebėti, jog šiose aprėpties zonose vežimo atstumai gali būti didesni, kadangi kroviniui transportui yra taikomi įvairūs važiavimo ribojimai, be to, kelias nėra tiesė.

Susikirsčius teritoriją aprėpties zonomis buvo pastebėta, kad Ispanijoje ir Portugalijoje fiksuoti DC nedengia 20 proc., Lenkijoje, Rumunijoje ir Didžiojoje Britanijoje 5 proc., Bulgarijoje 70 proc. šalies ploto (2.4 pav.). Remiantis SMMT pateikta informacija, dukterinei PSA gamintojo logistikos įmonei GEFCO D. Britanijoje sumažinus DC kiekį nuo devynių iki trijų, pavyko pasiekti, kad vidiniais maršrutais sunkvežimių rida sumažėjo 23 proc. per metus (SMMT 2009). Atsižvelgus į šį rezultatą, vengiant skirstymo operacijų dubliavimosi, buvo nuspręsta, jog produkcija iš gamyklų bus tiekiama naudojant skirstymo centrų sistemą, ir tik tuo atveju, jei bus gabenama per jūrų uostus, bus taikoma mišri skirstymo centrų ir tarpinių mazgų sistema. Vieningas skirstymo tinklas buvo suformuotas iš 70 skirtingų regioninių skirstymo centrų ir 24 jūrinių uostų (TM). Kiekvienoje šalyje esančioms gamykloms, skirstymo centrams ir uostams buvo priskirti žymėjimai, kuriuos sudarė ISO 3166-2 standartu apibrėžti šalių kodai ir numeriai (C priedas).

Priimama sąlyga, jog vieno automobilio sandėliavimui terminale yra skiriamas 20 m^2 plotas. Į šalį importuojami automobiliai skirstomi pagal terminalų dydžius, išreikštus DC ir vienam automobiliui skiriamo sandėliavimo plotų proporcija. Daroma prielaida, jog DC dydis nusako tikslinio regiono, kuriame yra pats DC, automobilių paklausos intensyvumą. Atsižvelgiant į pasirinktų DC infrastruktūrinius pajėgumus, t. y. kiek vienu metu galima talpinti automobilių, buvo nustatytos produkcijos importo apimtys į kiekvieną šalyje esantį DC. Tam tikros modelyje esančiose šalys: Šveicarija, Slovakija ar Bulgarija turi tik po vieną automobiliams skirtą DC. Vadinasi, jei šalyje yra vienas DC, tai visas produkcijos srautas bus pristatomas tik į vieną paskirties tašką. Kitu atveju, kai šalyje yra daugiau nei vienas DC, reikia nustatyti tam tikrą DC produkcijos traukos intensyvumą. Pavyzdžiui, Belgijoje yra trys automobilių DC. Gilengeno mieste, esančiame DC T_{i1} , vienu metu galima sandėliuoti 22 000, Tongereno mieste – T_{i2} 9 600 ir Kortembergo mieste – T_{i3} 11 500 automobilių. Atsižvelgiant į šiuos parametrus, buvo nustatyti produkcijos traukimo į kiekvieną šalies DC koeficientai TD_{ky} . Šiuo atveju, anksčiau minėti traukimo koeficientai bus lygūs: $TD_{k1} = 0,510$, $TD_{k2} = 0,223$ ir $TD_{k3} = 0,267$. Šalies tam tikro skirstymo centro TD_{ky} apskaičiuojami pagal šią formulę:

$$TD_{ky} = \frac{T_{iy}}{\sum_{y=1} \sum_{i=1} T_{iy}}. \quad (2.8)$$

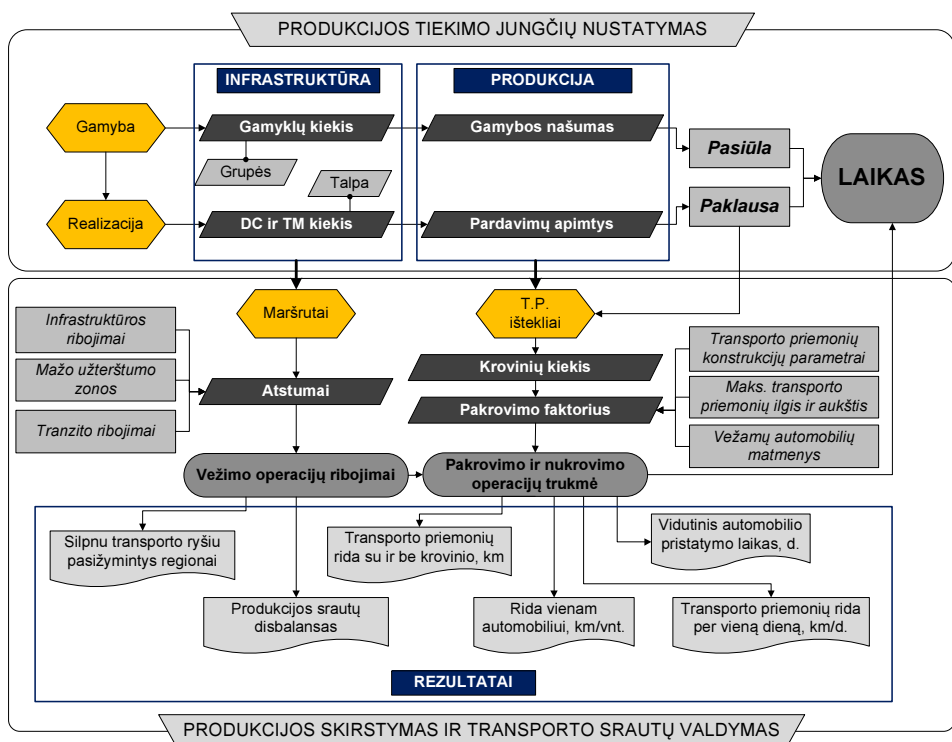
Kadangi daugelio gamintojų gamyklose nėra surenkama visa siūlomų modelių gama ir nėra informacijos, kokios gamyklos yra priskiriamos kokiam regionui, traktuojama, jog produkcija yra tiekiamą į visas šalis iš visų gamintojų gamyklų pagal nustatytus produkcijos stūmimo ir traukimo (angl. *push and pull*) koeficientus. Pagal šiame ir 2.2 poskyriuose siūlomus metodus buvo suformuotas kiekvienos šalies DC traukos ir atskiros gamyklos produkcijos stūmimo ryšys, išreikštas pagamintos produkcijos vienetais. Žemiau pateiktame 2.5 paveiksle grafiškai pavaizduotas naujų automobilių tiekimo į skirstymo centrus ryšio nustatymo algoritmo pavyzdys.



2.5 pav. Naujų automobilių tiekimo į DC ryšio nustatymo algoritmo grafinė išraiška

Fig. 2.5. Graphic view of algorithm establishing the connection of new vehicles supply to DC

Remiantis 2.2–2.4 poskyriuose pateikta informacija buvo susisteminta ir perkelta į Excel programą. Pirmoje eilutėje šių stulpelių pavadinimai: produkcijos eksporto, importo šalių kodai (2); gamyklų ir DC numeriai (2); gamyklų grupės ir jose surankamų automobilių tipai (2); mėnuo (1); kiekvienoje gamykloje pakrovimo faktorius į automobilvežį ir vagoną (2); per mėnesį pagamintų automobilių kiekis (1); sezoniškumo koeficientai (1); krovinio kiekis ir neišvežtų automobilių likutis gamyklose (2); gamyklų stūmimo ir tikslinių DC traukimo koeficientai (2); kiekvieną mėnesį išvykstančių automobilvežių į tikslinius DC kiekis (1); importuojamų automobilių kiekis į tikslinį DC (1). Duomenų matricą sudarė 17 stulpelių ir 58 098 eilutės.



2.6 pav. Hipotetinio produkcijos tiekimo ir transporto srautų modelis
Fig. 2.6. Hypothetical model of production supply and transport flow

Pirmajame disertacijos skyriuje, 1.3.3 poskyryje pateikta mokslinės literatūros analizė rodo, jog sprendžiant transporto bei produkcijos skirstymo uždavinius būdinga nustatyti fiksuotą gamyklų, realizavimo vietų bei transporto priemonių skaičių, o tiekimo funkcijoms taikyti atsitiktinius skirstymo operacijų

ribojimus. Todėl sudarant hipotetinį naujų automobilių skirstymo modelį buvo suformuotos dvi tarpusavyje susijusios struktūrinės dalys, kurių pirmoje pagal esamas produkcijos pasiūlos ir paklausos apimtis konkrečiu laiko momentu būtų nustatomos galimos tiekimo jungtys tarp esančių gamyklų ir tikslinių rinkų DC ir TM, o antroje apibrėžiamos produkcijos srautų bei transporto operacijų valdymo funkcijos (2.6 pav.).

Pirmoje hipotetinio produkcijos tiekimo ir transporto srautų modelio dalyje pritaikius sukurtą naujų automobilių tiekimo į skirstymo centrus ryšio nustatymo algoritmą buvo sudarytos galimos tiekimo jungtys tarp gamyklų ir tikslinėse rinkose esančių DC. Atlikus pirminius skaičiavimus buvo pastebėta, jog kai kurių prekių ženklų gamyklos neturi ryšio su tam tikrais mažesni traukimo koeficientą turinčiais skirstymo centrais. Pavyzdžiui, Vengrijos rinkai skirti automobiliai yra pristatomi į du DC, esančius Estergomo ($TD_{k1} = 0,2$) ir Budaorso ($TD_{k2} = 0,8$) miestuose. Kadangi pastarojo mazgo infrastruktūros laidumas yra ženkliai didesnis, produkcijos srautas iš mažesnio gamybinio pajėgumų gamyklų yra adresuojamas į stipresnį traukimo koeficientą turintį DC. Tai gali lemti, jog kai kuriose aprėpties zonose susiformuoja regioninis automobilių deficitas ir atsiranda tarpinių operacijų poreikis. Tačiau tokių kritinių ryšių nėra daug ir tolimesniuose skaičiavimuose nebus atsižvelgiama į minėtą rinkų aprūpinimo sutrikimą.

Siekiant nustatyti esamą skirstymo tinklo padėtį bei tiekimo sistemos sutrikimus, kitame skyriuje sudaryti du produkcijos skirstymo variantai, kuriuose funkcinį ryšį užtikrino skirtingais pakrovimo bei vežimo parametrais išsiskiriančios transporto rūšys.

2.5. Antrojo skyriaus išvados

1. Atlikta automobilių pramonėje esamų skirtingų gamintojų bendradarbiavimo pavyzdžių analizė parodo, jog komplektuojančių dalių standartizavimas, inžinerinių pasiekimų praktinės patirties (angl. *know-how*) dalybos bei kelių prekių ženklų produkcijos surinkimas toje pačioje gamykloje nėra tabu, todėl siūloma logistinio bendradarbiavimo koncepcija yra naujas iššūkis siekiant efektyvesnio transporto išteklių panaudojimo.

2. Daugelis atsargų valdymo ir transporto problemų sprendimų yra grindžiami fiksuotais parametrais, o jiems įtakos turintys ribojimai ne visada atspindi realioje aplinkoje, todėl sudarant vieningą produkcijos skirstymo tinklą, apimančią 83 gamyklas, 70 DC ir 24 uostus buvo atsižvelgta į: sezoniskumo, gamyklų bei tikslinių šalių DC infrastruktūros pajėgumus, gaminamos produkcijos apimtį bei galimų jungčių kieki, transporto išteklių ir surinktų automobilių technines charakteristikas, būtinas nustatant pakrovimo faktorių.

3. Įvertinus gamyklų gamybinio našumo bei DC talpos parametrus sukurtas naujų automobilių tiekimo į skirstymo centrus ryšio nustatymo algoritmas, kuriuo remiantis suskirstytas 9,5 mln. automobilių kiekis ir jo pagrindu sudaryta 5 810 skirtingų maršrutų, jungiančių produkcijos pasiūlos ir paklausos taškus. Šis algoritmas gali būti pritaikytas esant dinaminiais atsargų nuokrypiams bei atliekant skirstymo tinklo pakeitimus.

Produkcijos srautų ir transporto išteklių valdymas bendrame skirstymo tinkle

Siekiant mažinti neefektyvų transporto išteklių naudojimą bendrame Europos automobilių gamintojų produkcijos skirstymo tinkle, sukurtas transporto srautų jungimo algoritmas, kurio pagrindu buvo apskaičiuojamos pakrovimų alternatyvos ir tokiu būdu užtikrinamas transporto priemonių naudojimo tęstinumas. Galimų naujų automobilių skirstymo tinklo sutrikimų nustatymui suformuoti du skirstymo variantai: pagal pirmąjį visas pagamintos produkcijos srautas buvo priskirtas kelių transportui, o antrajame, įvertinus infrastruktūros ribojimus, papildomai buvo įterptas geležinkelių ir jūrų transportas. Šio skyriaus medžiaga buvo publikuota Vilkelis, Jakovlev (2013) straipsnyje.

3.1. Pirmojo naujų automobilių skirstymo varianto formuluotė

Dėl įvairių ribojimų savitumo skirstymo procesas yra pakankamai sudėtingas, ir nors iš pirmo žvilgsnio vežimas iš taško A į B atrodo gan primityviai, tačiau žė-

miau detalizuojamoje uždavinio formuluotėje bus atskleisti specifiniai maršrutų sudarymo bei skirtingose šalyse taikomų ribojimų ypatumai, kurie lemia ne tik važiavimo laiką, bet ir pačių transporto išteklių naudojimo efektyvumą. Atsižvelgiant į pirmajame skyriuje pateiktą analizuojamos literatūros medžiagą pastebima, jog daugelis automobilių gamintojų pastaraisiais metais didelį dėmesį skyrė produkcijos pristatymo laiko mažinimui. Todėl lankstumu ir greičiu išsiskiriantis kelių transportas šiuo atveju bus tinkama priemonė įvertinti esamą skirstymo tinklo problematiką ir nustatyti „Status Quo“.

Planuojant produkcijos skirstymą, būtina atsižvelgti į tam tikrus geografinius krovinių transporto veiklos ribojimus, kurie lemia maršrutų parinkimą. Pavyzdžiui, Europos pietinė dalis išsiskiria dideliais logistiniais ribojimais Alpių regione, kuriame įvairiomis teisinėmis formomis yra mažinamas krovinių vežimo keliais patrauklumas. Tarkim Šveicarijoje, kuri neįeina į Europos Sąjungos sudėtį, vien tik mokestis už kelių infrastruktūros naudojimą sunkiasvorėms transporto priemonėms siekia 0,56 eur./km, todėl nenuostabu, jog daugelis tranzitinių krovinių yra nukreipiami aplenkiant šią teritoriją. Panašiomis priemonėmis yra ribojamas maršrutas iš Šiaurės Italijos į Prancūziją, nes būtina kirsti vieną iš dviejų tunelių per Alpes.

Maršrutams parinkti buvo naudojama „google.maps“ integruotoji GIS programa. Atsižvelgus į anksčiau minėtus maršrutų sudarymo ribojimus, buvo apskaičiuoti 5810 atstumų tarp modelyje esančių 83-jų automobilių gamyklų ir 70-ies sausumos skirstymo centrų (toliau T_G). Kai kurių maršrutų sudarymui buvo išskirti išimtiniai važiavimo tranzitu per Andorą, Balkanų šalis bei Šveicariją atvejai. Pastaroje šalyje transporto srautų modelio ribojimų sąlygose yra numatytas tik galimas produkcijos importas.

Įvedus išvykimo ir atvykimo koordinatas, kurios buvo nustatytos pagal realius gamyklų ir DC adresus, programa dažniausiai parenka trumpiausią maršrutą neįvertindama kai kurių ribojimų, skirtų sunkvežimiams. Kaip antai važiavimą per miestų ar gyvenviečių centrus bei nacionalinės reikšmės keliais, kuriuose limituojami svorio bei aukščio standartai dažniausiai nėra pritaikyti krovinėms transporto priemonėms. Todėl didžioji dalis maršrutų buvo projektuojami magistraliniais keliais.

Didžiąją Britaniją su kontinentine Europa jungia Eurotunelis arba keltų linijos per Lamanšo sąsiaurį. Transporto srautų modelyje yra numatoma, jog visi automobilvežiai į Didžiąją Britaniją keliaimi keltais per Kalė (Prancūzija) ir Doverio (D. Britanija) uostus. Įvertinant laiko tarpą, skirtą transporto priemonių persikėlimo operacijoms, visuose maršrutuose į arba iš minėtos šalies papildomai buvo pridėdamas 60 km atstumas.

Pastebima, jog daugelis tikslinių arba tranzitinių maršrutų į Italiją yra nusi-driekę per Alpių regioną ir jam priskirtas mažo užterštumo zonas (toliau MUZ), todėl 360 jungčių buvo suprojektuotos per Insbruko regioną, Austrijoje, kur

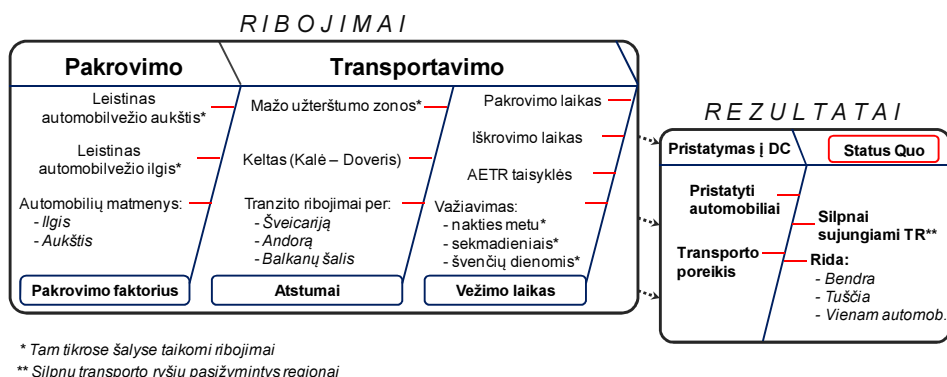
tranzitu vykstančios krovininės kelių transporto priemonės yra keliamos sausuoma, naudojant platforminius vagonus (šis procesas apibūdinamas judančiu plentu) ir 223 – per Mont Blanc ir Frėjaus tunelius, jungiančius Šiaurės Italiją su Prancūzija. Per Lamanšo sąsiaurį iš viso buvo sudaryta 760 maršrutų. Tarp vienoje šalyje esančių gamyklų ir DC išskirta 700 atskirų trasų, skirtų vietiniam susisiekimui ir 5110 jungčių, adresuotų tarptautiniam krovininių vežimui. Kadangi produkcijos skirstymas šalies viduje nėra įtrauktas į modelį, draudžiami keliai nustatomi įvedant nulines reikšmes.

Produkcijos transportavimo laikas yra itin svarbus veiksnys, todėl nustatant važiavimo greičio fiksuotą dydį buvo atsižvelgta į Europoje taikomus ribojimus, skirtus konkrečiai transporto rūšiai. Krovininės kelių transporto priemonės dėl skleidžiamo triukšmo ir taršos yra viena iš opiausių miestų ir gyvenviečių, per kurias driekiasi magistraliniai keliai, problemų. Kaip pavyzdį galima paminėti Austriją, kur sunkvežimiai nakties metu gali važiuoti ne didesniu nei 60 km/h greičiu ir tik tuo atveju, kai transporto priemonė turi gamintojo išduotą Mažą triukšmingumą patvirtinantį sertifikatą (vok. *Lärmarmes Kraftfahrzeug Zertifikat*). Papildomai kai kuriose šalyse yra taikomi ribojimai krovininio transporto eismui savaitgaliais, švenčių dienomis, nakties metu. Sekmadieniais daugelyje Europos valstybių: Vokietijoje, Austrijoje, Prancūzijoje, Italijoje ir kt., sunkvežimių eismas yra draudžiamas. Atsižvelgiant į anksčiau minėtus limitus, priimama sąlyga, jog automobilvežių važiavimo savaitę sudaro 5 darbo dienos.

Įvertinus, jog automobilvežio pakrovimo darbams skiriama 2 val., o iškrovimo – 1 val. trukmė, bei atsižvelgus į darbo ir poilsio laiko AETR taisyklių reikalavimus, skirtus krovininėms kelių transporto priemonėms, modelyje yra fiksuojamas sunkvežimio važiavimo atstumas per vieną dieną, kuris yra lygus 500 km. Sudarytame krovininių srautų modelyje imamos idealios važiavimo sąlygos, neįvertinant remontuojamų kelio ruožų, avarių, kamščių, techninių gedimų ir kitų faktorių, lemiančių transportavimo greitį.

Pagal antrajame skyriuje pateiktą naujų automobilių tiekimo į DC ryšio nustatymo algoritmą, buvo nustatytas produkcijos pasiūlos ir paklausos ryšys tarp gamyklų ir skirtingų šalių DC. Siekiant užtikrinti transportinį krovininių tiekimo srautą, pirmojo skirstymo varianto uždaviniui buvo sudaryti skirstymo operacijoms būdingi ribojimai, apimantys pakrovimo faktorių gamyklose, maršrutų sudarymo ypatumus bei vežimo laiką. Remiantis pirmajame skyriuje pateikta praktinių ir mokslinių transporto procesų bei atsargų valdymo pavyzdžių analize, buvo suformuoti siekiami rezultatai, kurie leistų nustatyti pagamintos produkcijos skirstymo „Status Quo“ padėtį. Šiam tikslui pasiekti kompleksinis problemos sprendimas orientuotas į bendrą ir tuščią krovininių transporto priemonių ridą, atstumą, tenkantį vežamo automobilio vienetui, pristatytų krovininių kiekį bei naudojamų išteklių poreikį. Produkcijos skirstymo srautų modelyje, autoriaus manymu, būtina išskirti silpnai sujungiamus transporto regionus (angl. *Badly*

connected transport regions), kuriuose dėl esamo krovinių srautų disbalanso negali būti užtikrintas efektyvus sunkvežimių pakrovimas bei galimybė surasti atgalinį krovinį. Nustačius minėtas kritines zonas, būtų galima taikyti vežimo alternatyvas, kurios leistų efektyviau naudoti turimus transporto išteklius. Šiai hipotezei pagrįsti formuluojamame uždavinyje šios sritys bus žymimos skirstymo sistemos trūkio taškais. Žemiau pateiktame 3.1 paveiksle pavaizduota pirmojo skirstymo varianto ribojimų ir siekiamų rezultatų schema.



3.1 pav. Ribojimų ir siekiamų rezultatų schema pirmajam skirstymo variantui
Fig. 3.1. Scheme of limitations and obtaining results for the first supply option

Dėl ganėtinai didelės duomenų imties, remiantis pirmame skyriuje pateikta įvairių šaltinių analize, buvo nuspręsta atsižvelgti į Cordeau *et. al.* (2011) rekomendaciją ir skaičiavimus atlikti vieno mėnesio laiko intervale. Šiam tikslui buvo pasirinktas sausio mėnuo. Pastarasis laikotarpis išsiskiria ganėtinai dideliu transporto poreikiu dėl iki metų pabaigos nepristatytos produkcijos bei kasmetinių žiemos atostogų, kurių metu užsidaro gamyklos, o tuo pačiu daugelis transporto priemonių grąžinamos į savo bazines.

3.2. Produkcijos pasiūlos ir paklausos nustatymas laiko intervale

Kadangi produkcijos skirstymo modelis sudarytas remiantis konkrečiu laikotarpio duomenimis, pasiūlos ir paklausos apimtys buvo suskirstomos į krovinius, kurių dydį lėmė 2.3 poskyryje nustatyti kiekvienos gamyklos pakrovimo į transporto priemones faktoriai. Siekiant nustatyti gamykloje susikaupusių atsargų lygį, esamus produkcijos kiekius reikia suskaidyti į smulkesnius laiko intervalus,

šiuo atveju į savaites ir dienas. Todėl kitame etape, atsižvelgiant į maršruto nuotolį ir nustatytą sunkvežimio važiavimo greitį, bus galima apskaičiuoti automobilių pristatymo į tikslinį DC terminus. Priimama sąlyga, jog paklausa tam tikru periodu yra lygi pasiūlai, gamyklose pridėjus transportavimui skirtą laiką, t. y. nebus atsižvelgiama į laiko sąnaudas, skirtas užsakymo gavimui, apdorojimui, produkcijos pagaminimui ir paruošimui išvežti.

Kiekviena šalis pagal teritorijos dydį turi nuo vieno iki dvidešimties DC. Apskaičiuojant importuojamų krovininių kiekį A_{dy} į tikslinę rinką, buvo remiamasi jau nustatytais kiekvienos šalies skirstymo centrų produkcijos traukimo koeficientais TD_{ky} , kurie buvo padauginėti iš automobilvežių skaičiaus A . Gautos reikšmės apvalinamos į mažesnę pusę, o likusi dalis pridedama prie kito DC kiekio. Matematinė išraiška pateikiama žemiau nurodytose (3.1)–(3.3) formulėse:

$$A_{d1} = \lfloor A \cdot TD_{k1} \rfloor, \quad (3.1)$$

$$A_{d2} = \lfloor (A \cdot TD_{k2}) + (A \cdot TD_{k1}) - A_{d1} \rfloor, \quad (3.2)$$

$$A_{d20} = \left\lfloor \begin{aligned} & (A \cdot TD_{k20}) + (A \cdot TD_{k1}) - A_{d1} + (A \cdot TD_{k2}) - A_{d2} + \dots + \\ & + (A \cdot TD_{k18}) - A_{d18} + (A \cdot TD_{k19}) - A_{d19} \end{aligned} \right\rfloor. \quad (3.3)$$

Atsižvelgiant į DC kiekį šalyje ir įvertinus tai, kad krovininių likučiai nuo pirmojo iki paskutiniojo produkcijos pristatymo centro yra sumuojami prie ankstesnio, šioje vietoje eilės tvarka turi tam tikrą reikšmę, nes pridedama liekana gali nulemti papildomą vieno krovininio atvykimą. Tačiau į šį pastebėjimą nebus atsižvelgta, o eiliškumas parenkamas atsitiktiniu būdu.

Žinant krovininių apimtis, atitinkančias rinkos paklausą, kitame etape gamykloje pagamintos produkcijos kiekis per mėnesį buvo suskirstytas į savaites ir apskaičiuojamas, remiantis žemiau pateiktomis formulėmis:

$$S_1 = \left\lfloor \frac{A_{dy}}{4} \right\rfloor, \quad (3.4)$$

$$S_2 = \left\lfloor \left(\frac{A_{dy} - S_1}{3} \right) + \left(\frac{A_{dy}}{4} - S_1 \right) \right\rfloor, \quad (3.5)$$

$$S_3 = \left\lfloor \left(\frac{A_{dy} - S_1 - S_2}{2} \right) + \left(\frac{A_{dy} - S_1}{3} - S_2 \right) + \left(\frac{A_{dy}}{4} - S_1 \right) \right\rfloor, \quad (3.6)$$

$$S_4 = \left[\begin{aligned} & \left(A_{dy} - S_1 - S_2 - S_3 \right) + \left(\frac{A_{dy} - S_1 - S_2}{2} - S_3 \right) + \\ & + \left(\frac{A_{dy} - S_1}{3} - S_2 \right) + \left(\frac{A_{dy}}{4} - S_1 \right) \end{aligned} \right], \quad (3.7)$$

čia S_n – eksporto krovinų kiekis per savaitę; A_{dy} – importuojamų krovinų į kiekvieną DC kiekis. Gautos reikšmės taip pat buvo apvalinamos į mažesnę pusę, o likutis keliamas į kitą periodą tam, kad išvengtų neišvežtų atsargų ir nepilnai pakrautų transporto priemonių faktoriaus.

Nustatant transporto poreikį gamyklose, reikia išskirti kiekvienos dienos produkcijos intensyvumą. Todėl remiantis anksčiau minėta pirmojo skirstymo varianto sąlyga, jog automobilvežio darbo savaitę sudaro 5 dienos, apskaičiuotas kiekvienos savaitės eksporto krovinų apimtis reikia išskirstyti į atskiras dienas. Šį procesą apibūdina šios formulės:

$$S_{11} = \left\lfloor \frac{S_1}{5} \right\rfloor, \quad (3.8)$$

$$S_{12} = \left\lfloor \left(\frac{S_1 - S_{11}}{4} \right) + \left(\frac{S_1}{5} - S_{11} \right) \right\rfloor, \quad (3.9)$$

$$S_{13} = \left\lfloor \left(\frac{S_1 - S_{11} - S_{12}}{3} \right) + \left(\frac{S_1 - S_{11}}{4} - S_{12} \right) + \left(\frac{S_1}{5} - S_{11} \right) \right\rfloor, \quad (3.10)$$

$$S_{14} = \left\lfloor \left(\frac{S_1 - S_{11} - S_{12} - S_{13}}{2} \right) + \left(\frac{S_1 - S_{11} - S_{12}}{3} \right) + \right. \\ \left. + \left(\frac{S_1 - S_{11}}{4} - S_{12} \right) + \left(\frac{S_1}{5} - S_{11} \right) \right\rfloor, \quad (3.11)$$

$$S_{15} = \left\lfloor \left(S_1 - S_{11} - S_{12} - S_{13} - S_{14} \right) + \left(\frac{S_1 - S_{11} - S_{12} - S_{13}}{2} \right) + \right. \\ \left. + \left(\frac{S_1 - S_{11} - S_{12}}{3} \right) + \left(\frac{S_1 - S_{11}}{4} - S_{12} \right) + \left(\frac{S_1}{5} - S_{11} \right) \right\rfloor, \quad (3.12)$$

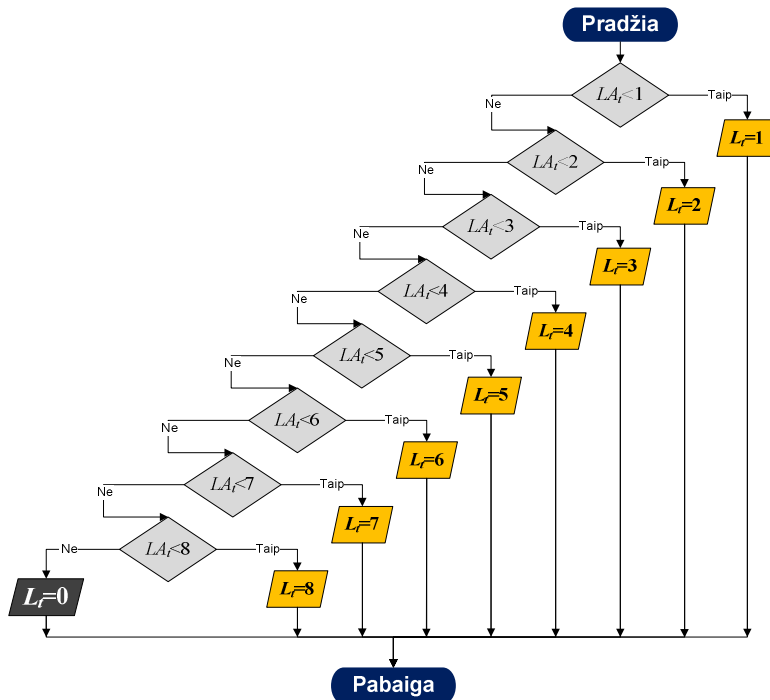
čia S_{np} – tai krovinų kiekis gamykloje tam tikros savaitės dieną. Pirmasis skaitmuo žymi savaitės skaičių (nuo 1 iki 4), antrasis – dieną (nuo pirmadienio iki penktadienio). (3.8)–(3.12) formulėse pateikta pirmajai savaitei skirtas skaičia-

vimo eiliškumas, kuriuo remiantis vėliau buvo apskaičiuota transporto paklausa likusiomis dienomis.

Pagal nustatytus atstumus nuo gamyklos iki DC apskaičiuojamas produkcijos pristatymo greitis LA_i , padauginant atstumą G iš nustatyto laiko koeficiento, kuris apibūdina 1 km įveikimo laiką per darbo dieną ir yra lygus 0,002.

$$LA_i = G \cdot 0,002. \quad (3.13)$$

Automobilvežis, atvykęs į paskirties vietą, turės sugaišti tam tikrą laiko tarpą iškrovimo operacijoms bei vykimui į kitą artimiausią gamyklą. Vadinasi, reikia įvertinti galimą laiko paklaidą, kurią lemia prieš tai įvardinti veiksniai. Todėl, jei produkcijos pristatymui į tikslinį DC, atsižvelgiant į LA_i , užtrunka 1,046 dienos, tai reiškia, jog krovinio pristatymui bus skiros dvi dienos (0 + 2). Vežimo laikas L_i apskaičiuojamas pagal 3.2 paveiksle pateiktą veiksmų seką.

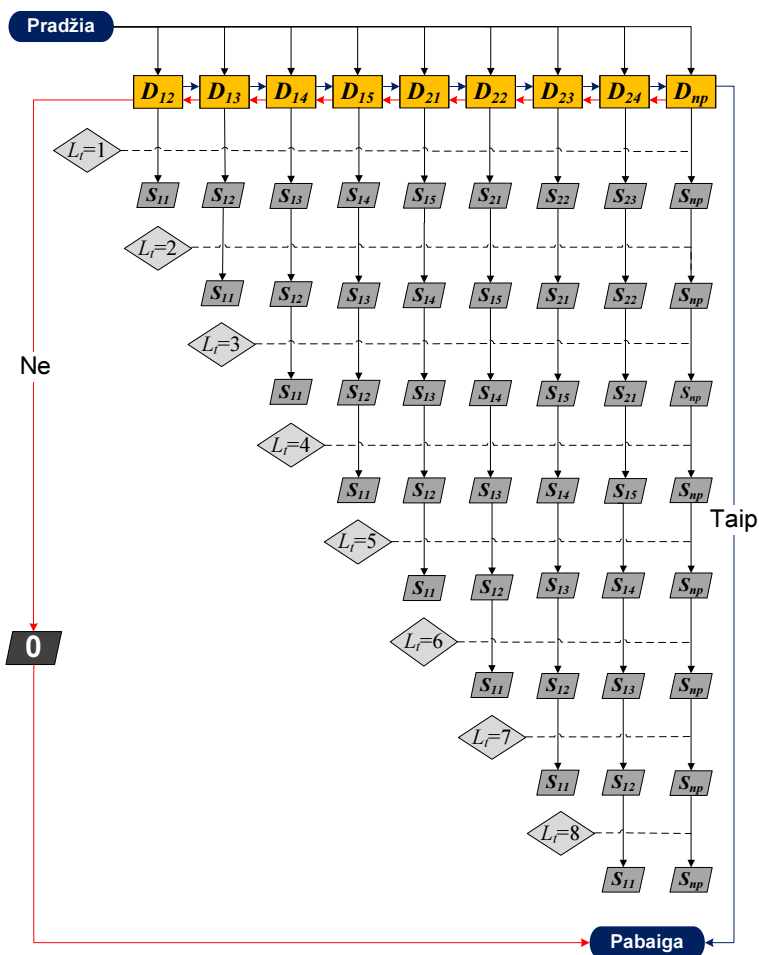


3.2 pav. Veiksmų sekos schema skirta apskaičiuoti vežimo laiką

Fig. 3.2. Flowchart to calculate transportation time

Jei atstumas nuo gamyklos iki DC yra mažesnis nei 500 km, automobilvežis per vieną dieną gali atlikti kelis reisus. Tačiau atlikti bandomieji skaičiavimai

parodė, jog beveik visais atvejais grįžimas buvo į tą pačią gamyklą, o transporto priemonės nebuvo nukreipiamos kitomis kryptimis. Tai reiškia, kad tuščia eiga sudarė 50 proc. nuo bendros ridos, o kartu buvo pažeistas krovininių srautų balansas. Įvedus sąlygą, jog automobilvežis tam tikru laikotarpiu gali įvykdyti tik vieną vežimo operaciją, buvo apribojama galimybė krauti prieš tai buvusiam taške. Tokiu būdu pavyko užtikrinti, jog krovininės transporto priemonės būtų nukreipiamos į skirtingas gamyklas, turinčias didžiausius traukimo koeficientus.



3.3 pav. Veiksmų sekos schema skirta apskaičiuoti atvykstančių krovininių apimtis

Fig. 3.3. Flowchart to calculate amount of incoming loads

Kadangi tolimiausias atstumas nuo Setubalio, Portugalijoje, iki Pitesti, Rumunijoje, siekia 3825 km, šiam maršrutui įveikti pagal numatytas maksimalias važiavimo ribas prireiks ne daugiau nei 8 dienų, t. y. jei iš gamyklos išvykstama pirmadienį ($0 + 1$), tai atvykimo diena bus kitos savaitės ketvirtadienis ($0 + 8$). Remiantis šiuo principu, kiekvieną tam tikros savaitės dieną atvykstančių krovinių kiekis D_{np} į tikslinį DC, kituose etapuose buvo apskaičiuojamas pagal 3.3 paveiksle nurodytą veiksmų seką.

Pirmosios savaitės pirmą dieną S_{11} išvykstančios pakrautos transporto priemonės pagal numatytus ribojimus į tikslinį DC atvyksta kitą dieną, todėl pirmos dienos D_{11} importo apimtys yra lygios nuliui. Aukščiau nurodytose formulėse skaičiavimo intervalas yra pateikiamas atsižvelgiant į tolimiausio maršruto įveikimo trukmę. Todėl pradėdant nuo antrosios savaitės ketvirtos dienos D_{24} ir baigiant ketvirtosios savaitės penkta diena D_{45} bus įvertinamas galimas automobilvežių, kurių reisai prasidėjo prieš aštuonias dienas, atvykimas.

Sudarytame produkcijos srautų modelyje dėl sudėtingai vertinamo neapibrėžtumo neatsižvelgta į šias sąlygas:

- remontuojami kelio ruožai ir eismo ribojimo sąlygos;
- galimi transporto priemonių techniniai gedimai, avarijos;
- produkcijos pristatymas pardavimo centrams arba galutiniam vartotojui;
- pagamintos produkcijos priskyrimas tam tikriems regionams;
- gamybos linijų sutrikimai, produkcijos gamybos vėlavimas;
- produkcijos konsolidavimas tarpiniuose perkrovimo taškuose;
- gamyklų bei DC darbo laikas;
- produkcijos likučių išvežimas;
- galimas transporto priemonių grįžimas į centrinę bazę.

Tuščios ridos bei pakrovimo faktoriai yra pagrindiniai transporto operacijų efektyvumo rodikliai, kuriems optimizuoti disertacijoje siūloma skirtingų gamintojų produkcijos skirstymo tinklus integruoti į unifikuotą tiekimo sistemą. Kol kas praktikoje nėra formalaus proceso, pripažinto automobilių gamintojų, leidžiančio pasiekti maksimalų atgalinių krovinių įsisavinimą (Holweg *et al.* 2001). Todėl visa atsakomybė, užtikrinant ridos efektyvumą, tenka transporto paslaugų operatoriui, kuris yra priverstas nuolat ieškoti tinkamų sprendimų, kaip sumažinti tuščios eigos faktorių ir deramai konkuruoti vežimo paslaugų rinkoje.

3.3. Transporto srautų jungimo algoritmo sudarymas

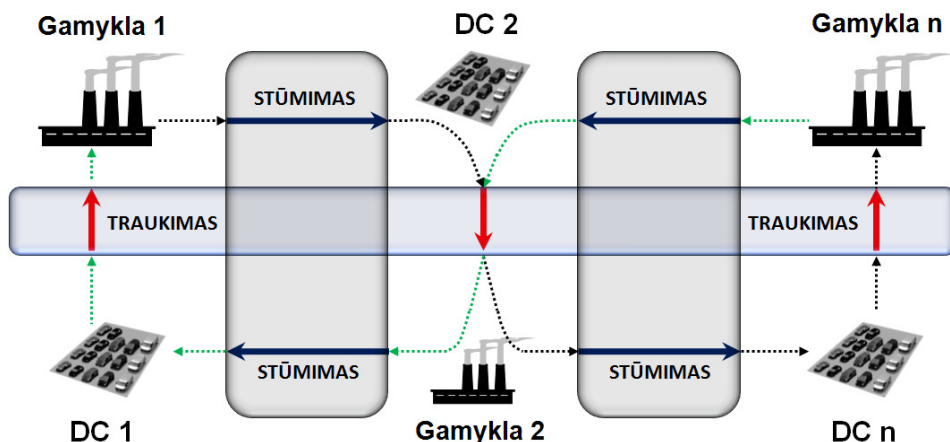
Apskaičiavus kiekvieną dieną išvykstančių bei atvykstančių krovinių apimtis buvo gauti pradiniai rezultatai, kurie parodo, kiek tam tikru laikotarpiu reikėtų transporto resursų, važiavimo su kroviniu ridos dalį, pristatytų automobilių kiekį

bei koks atstumas buvo skirtas vienam produkcijos vienetui (G priedas). Tačiau pagal šiuos rezultatus nebūtų aiški tolimesnė skirstymų operacijų seka, t. y. ar po kiekvieno krovinio pristatymo į paskirties vietą automobilvežis turi grįžti į pradinį tašką, kas atspindėtų uždaro transporto maršruto uždavinio formuluotę, ar vis dėlto vykti į kitą pakrovimo tašką. Be to, sudėtinga būtų įvertinti 3.1 poskyryje suformuluotus siekinius nustatyti silpnu transporto ryšiu pasižyminčius regionus bei tuščios eigos faktorius. Todėl ieškant tinkamo sprendimo suformuluotam naujų automobilių skirstymo variantui, buvo panaudota klasikiniams transporto uždaviniams skirta „TORA Optimization System“ programinė įranga. Importavus anksčiau minėtus susistemintus duomenis ir atlikus skaičiavimus, gauti rezultatai parodė, jog krovinių srautų skirstymui nustatytu periodu reikalingas 8643 sunkvežimių parkas, kurio tuščia eiga sudarė vos 6,5 proc. Pasieltas pernelyg didelis efektyvumas sukėlė tam tikrų abejonių, dėl to buvo nutarta patestuoti programą integruojant pavienes tiekimo kryptis. Paaiškėjo, jog ieškant optimalaus sprendimo sistema eliminuoja brangiausius DC, t. y. mazgus, kurie vienas nuo kito yra nutolę didžiausiu atstumu. Panašų pastebėjimą pateikia ir mokslininkai Coelho *et al.* (2012b), kurių sukurtame transporto srautų optimizavimo modelyje buvo aptiktas klaidingas sprendimas. Atliktas detalesnis tyrimas parodė, jog dažnai pasikartojančios funkcijos įprastai vienoje skaičiavimų iteracijoje kelis kartus parenka pigiausią skirstymo alternatyvą, pašalindama tam tikrus klientus. Performuotos reikšmės vėliau buvo nukopijuojamos ir panaudojamos tolimesniuose skaičiavimuose. Tačiau įvertinus pagrindinę uždavinio sąlygą, kad produkcijos pasiūla gamykloje yra lygi produkcijos paklausai tiksliniuose DC, į skaičiavimus negali būti neįtraukti ekonomiškai nenaudingi taškai, nes tokiu atveju pasiūla viršys paklausą, o tikslinės rinkos nebus aprūpintos reikiama produkcija. Tai įrodo, jog specifinių atsargų skirstymo ir transporto srautų valdymo uždaviniams skirtos jau sukurtos programos ne visada gali būti naudojamos tokio pobūdžio sprendimams.

Atsižvelgiant į anksčiau minėtas pastabas buvo sukurtas metodas, pagal kurį optimizavimo funkcija ribotų nenaudingų taškų pašalinimą ir leistų nustatyti skirstymo sistemos trūkumus bei sudarytų prielaidas alternatyvių sprendimų taikymui. Šiam tikslui pasiekti iš pradžių reikia apibrėžti, kokių principu modelyje bus formuojamas transporto cirkuliacijos ryšys. Kadangi vežimo procesas yra orientuotas į tarptautines rinkas, todėl sunkvežimiams bus apribotas grįžimas į savo bazę arba į pirminį išvykimo tašką. Remiantis pirmajame skyriuje aprašyta Pienininko maršruto koncepcija, šiame uždavinyje surenkamus pavienius krovinius atstos skirtingos transporto priemonės, kurios bus akumuliuotos į vieningą skirstymo tinklą.

Algoritmo pradžios ciklas prasideda nuo gamyklos, kurioje kiekvieną dieną yra sukuriamas tam tikro intensyvumo pagamintos produkcijos pasiūlos stumiamas srautas. Vežimo kryptį nulemia 2.4 poskyryje pateikti kiekvienos šalies pa-

klausos, t. y. trauką į tikslinį DC atspindintys koeficientai TD_{ky} . Kai transporto priemonė atvyksta į paskirties vietą, kitame etape turėtų būti nustatomas tolimesnis jos judėjimo vektorius. Disertacijoje pateikiamo tyrimo atveju, tai yra artimiausia gamykla, kurioje produkcijos stūmimo koeficientas FS_{kx} atitinkamu periodu yra didžiausias (3.4 pav.).



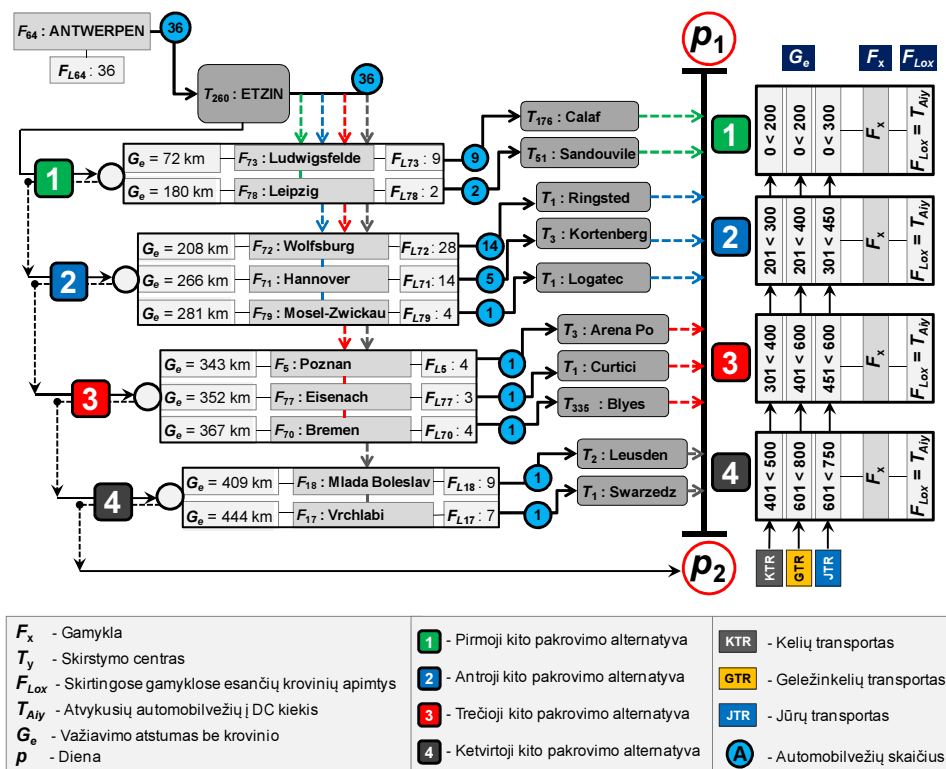
3.4 pav. Produkcijos srauto tarp gamyklų ir DC stūmimo ir traukimo schema
Fig. 3.4. Push and pull scheme of production flow between factories and DC

Siekiant sumažinti neefektyvų resursų panaudojimą, įvedama ribojimo sąlyga, jog po iškrovimo automobilvežis vyksta į artimiausią gamyklą. Kadangi šis etapas yra lemiamas tuščios ridos faktoriui, buvo atsižvelgiama, jog nepakrautos transporto priemonės negali būti nukreipiamos į tokias gamyklas, iki kurių nuvykti prireiktų visos darbo dienos, t. y. pirmojo skirstymo varianto atveju nuotolis neturi viršyti 500 km. Todėl galimai distancijai tarp DC ir produkcijos pasiūlos taškų buvo sudaromos papildomos jungtys, atitinkančios konkrečius intervalus. Iš sudarytos maršrutų matricos T_G , trumpiausias kito pakrovimo taškas randamas pagal Excel programoje naujodamą formulę:

$$G = \text{hlookup} \left(\begin{array}{l} F; \text{paieškos zona} \rightarrow T_G; \\ \text{match}(T; \text{paieškos zona} \rightarrow T_G; \text{riba} \rightarrow T; 0); \\ \text{false} \end{array} \right), \quad (3.14)$$

čia G – atstumas nuo gamyklų iki DC; hlookup – reikšmės paieška duomenų lentelės masyvo eilutėje; match – nurodytų reikšmių paieška langelių diapazone; F – automobilių gamykla; T – skirstymo centras.

Apskaičiuoti tuščią ridą yra sudaromos keturios iteracijos. Pagal pirmą iteraciją yra apskaičiuojamos galimos kitų pakrovimų alternatyvos, apimančios regioną, kuriame gamyklos yra nutolusios nuo 100 km iki 200 km, pagal antrą – nuo 200 km iki 300 km, pagal trečią – nuo 300 km iki 400 km ir pagal ketvirtą – nuo 400 km iki 500 km atstumu. Šiame modelyje pristatymo laike L_t yra įtraukta transporto priemonių vykimo be krovinio trukmė. Todėl esant šiai sąlygai, kiekvienu atveju bus tikrinama, ar nustatytame L_t įvertinta paklaida, skirta nenaudingam darbui, yra pakankama įveikti atstumą nuo DC iki kitos gamyklos. Šis veiksmas reikalingas nustatyti galimus vėlavimus, kurie lemia atsargų kaupimąsi. Jei bus užfiksuota, jog pastovus laiko rodiklis yra mažesnis, prie jo bus pridėdama papildoma diena ir fiksuojamas atvykimo sutrikimas.



3.5 pav. Transporto srautų jungimo algoritmo grafinė išraiška

Fig. 3.5. Graphic view of transport flow connection algorithm

Įvertinus sąlygą, jog iš kelių DC, esančių viename regione, visi sunkvežimiai bus nukreipiami į artimiausią gamyklą, reikia apibrėžti prioritetinius vekt-

rius, kurie leistų užtikrinti proporcingą transporto resursų pritraukimą. Šiam tikslui įgyvendinti vieningame skirstymo tinkle buvo sudaromos galimų važiavimų kryptys, kurių pasirinkimą lems atsargų, esančių gamykloje, ir automobilvežių kiekis viename iš konkrečiam regionui priskirtame DC. 3.5 paveiksle yra pateiktas transporto srautų jungimo algoritmo pavyzdys, kuriame parodyta kaip automobilvežiai, atvykę į DC, iš jo nukreipiami į artimiausią gamyklą ir pratęsiama tų pačių transporto priemonių cirkuliacija, skirstant krovinius, taikant atviro maršruto uždavinio sąlygą.

Remiantis antrajame skyriuje pateiktu naujų automobilių tiekimo į skirstymo centrus ryšio nustatymo algoritmu, tuo pačiu principu buvo nustatomi transporto paklausos AD_{kx} ir pasiūlos AS_{ky} koeficientai, pagal kuriuos vėliau buvo parinkti kiti pakrovimo taškai. Konkrečiu atveju trauką atspindėjo ne DC infrastruktūros pajėgumas, o skirtingose gamyklose esančių krovinių apimtys F_{Lox} , automobilvežių stūmimą – ne vienam gamintojui priklausančių atskirų fabrikų našumas, o tam tikro regiono DC atvykusių automobilvežių kiekis T_{Aiy} . Transporto srautų jungimui skirti rodikliai buvo apskaičiuojami pagal žemiau pateiktas (3.15), (3.16) formules:

$$AD_{kx} = \frac{F_{Lox}}{\sum_{x=1} \sum_{o=1} F_{Lox}}, \quad (3.15)$$

$$AS_{ky} = \frac{T_{Aiy}}{\sum_{y=1} \sum_{i=1} T_{Aiy}}. \quad (3.16)$$

Sudauginus nustatytus koeficientus su konkrečiu periodu gamyklose esančių suformuotų krovinių ir priskirtuose DC atvykusių transporto priemonių kieki, buvo nustatyti galimi kito važiavimo alternatyvūs keliai. Tačiau tam, kad transporto priemonės nebūtų nukreipiamos ten, kur pagamintos produkcijos nepakanka užtikrinti pilną pakrovimą, buvo suformuluota sąlyga, jog resursų pasiūla iškrovimo mazge turi atitikti krovinių paklausą kito pakrovimo taške, t. y. jei $F_{Lox} < T_{Aiy}$, tuomet imama gamykloje esančių krovinių F_{Lox} , priešingu atveju – konkretaus DC stūmimo reikšmė T_{Aiy} .

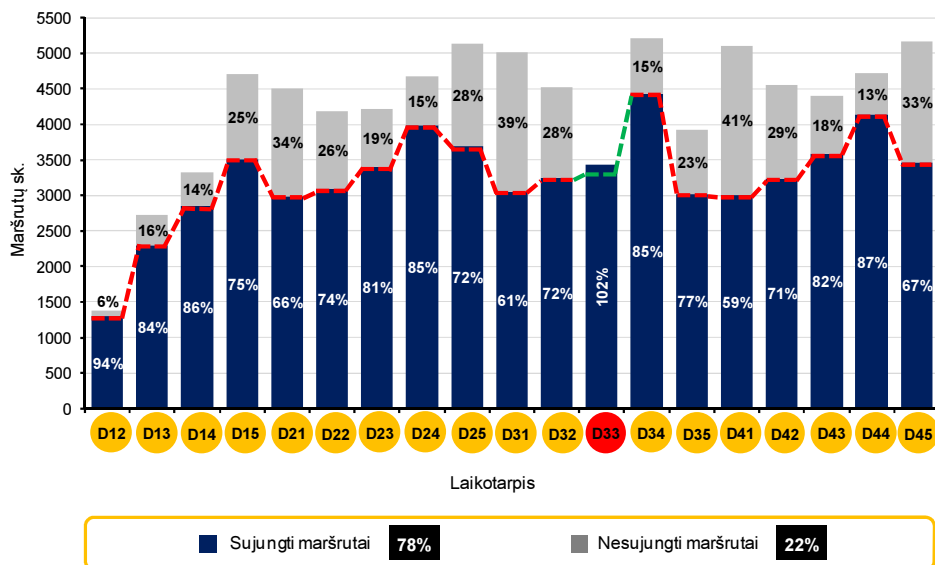
Kiekvienos dienos sunkvežimių maršrutų jungimui reikėjo atlikti skaičiavimus visiems tam tikru atstumu apibrėžtiems regionams. Kadangi skirtingose iteracijose produkcijos išsiuntimo ir pristatymo centrui kartojasi, buvo sudarytas prioritetas eiliškumas, t. y. iš pradžių paskaičiuojamos jungtys, esančios mažiausių atstumų intervale, po to, gautas reikšmes atėmus iš F_{Lox} ir T_{Aiy} , likučiai perkeliama į kitam regionui skirtą jungimo iteraciją.

Susisteminti atskirų periodų rezultatai parodo, kiek kiekvienoje gamykloje liko neišvežtų krovinių, ir tuo pačiu nustatomas DC likusių transporto priemonių

skaičius. Jei per kelias dienas artimiausiose gamybose produkcijos nepakanka, tuomet fiksuojamas produkcijos deficitas, kuris lemia DC esančių transporto priemonių prastovas. Jei gamybose produkcija neišvežama, tai reiškia, kad šiame regione yra neproporcingas krovinių importo ir eksporto balansas, formuojantis papildomų resursų poreikį. Šios zonos yra fiksuojamos silpnu transporto ryšiu pasižyminčiais regionais ir tokiu būdu nustatomi skirstymo sistemos trūkio taškai.

3.4. Pirmojo skirstymo varianto rezultatų apibendrinimas

Apdorojus duomenis bei atlikus skaičiavimus pagal anksčiau minėtas ribojimų funkcijas bei sudarytus algoritmus buvo nustatyta pirmojo skirstymo varianto esama padėtis. Gauti rezultatai atskleidė transporto išteklių panaudojimo efektyvumą ir jų poreikį, taip pat esminius tiekimo sistemos sutrikimus, lemiančius tuščios ridos, prastovų, atsargų perteklių bei vėlavimus, kurie vėliau atsispindėjo laiko ir atstumo kaštuose, skirtuose vieno automobilio pristatymui.



3.6 pav. Transporto srautų jungimo algoritmo efektyvumas jungiant maršrutus
Fig. 3.6. Efficiency of transport flow connection algorithm by merging routes

Mažinant tuščią ridą, daugelyje sprendimų ieškoma mažiausią atstumą turinti reikšmė, tačiau esant šiai formuluotei neatsižvelgiama į galimus alternatyvius kelius. Suformuluotas metodas, kuris kito pakrovimo taško ieškojo keturiose zonose, parodė, jog daugiau nei pusę galimų jungimų buvo atliekami pirmoje iteracijoje, antroje – 33 proc., trečioje 7 proc. ir ketvirtoje – 8 proc. Tai leidžia daryti išvadą, jog siekiant padidinti sujungiamų maršrutų skaičių, reikėtų sudaryti papildomas galimybes transporto priemonėms vykti į tolimesnius taškus. Tačiau nustatyti ribiniai paieškos nuotoliai negali viršyti maksimalios sunkvežimio ridos per vieną dieną. 3.6 paveiksle parodytas, konkrečiu laiko periodu D_{np} atvykusių automobilvežių į DC kiekis T_{Atv} ir kokių santykiu pavyko užtikrinti reisų tęstinumą.

Pilkoji stulpelių dalis reiškia papildomą transporto išteklių poreikį gamyklose, o mėlynoji – esamų resursų panaudojimą. Pastebima, jog didžiausia dalis nesujungtų maršrutų, pradedant antrąja savaite, buvo pirmadieniais. Tai lėmė sunkvežimių važiavimo ribojimas savaitgaliais. Todėl lyginant su kitomis dienomis, D_{21} , D_{31} ir D_{41} matomas akivaizdus pristatytų krovinių padidėjimas. Geriausiu sujungimu išsiskyrė D_{24} , D_{34} bei D_{44} periodai. Vienintelį D_{33} automobilvežių pasiūla 2 proc. viršijo krovinių paklausą. Tai leido išvežti visą produkciją, kuri buvo pagaminta tą dieną ir tuo pačiu papildomai pakrauti 588 automobilius, kurie susikaupė ankstesniais periodais.

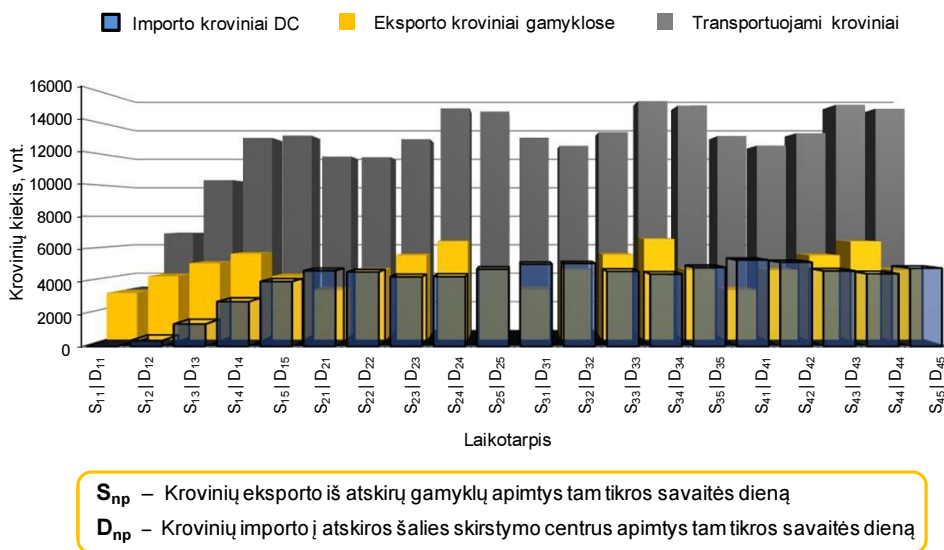
Išskiriant silpnu transporto ryšiu pasižyminčius regionus tiek gamykloms, tiek DC pagal juose susikaupusių atsargų bei neišvykusių automobilvežių kiekius konkrečiu periodu, buvo priskirti pasiekiamumo indeksai, kurie suskirstyti į keturis sutrikimų intensyvumą atspindinčius intervalus:

- pirmasis – nuo 100 proc. iki 90 proc. charakterizuoja itin gerą infrastruktūrinių elementų stūmimo ir traukos ryšį;
- antrasis – nuo 90 proc. iki 70 proc. byloja apie nežymius trikdžius, kurie greitai eliminuojami;
- trečiasis – nuo 70 proc. iki 50 proc. parodo srautų nepastovumą ir sutrikimų svyravimus;
- ketvirtasis – nuo 50 proc. iki 0 proc. konstatuoja blogai sujungiamus transporto regionus.

Susisteminti kiekvienoje iteracijoje gauti rezultatai atskleidė, jog ganėtinai mažo gamybinio pajėgumo ir didelės automobilių paklausos didžiausi DC trūkiai yra Šiaurės Italijoje ir Centrinėje Prancūzijoje. Kadangi ribojimuose buvo nustatyta, jog tuščia rida iki kito pakrovimo negali būti didesnė nei 500 km, DC, esantys Mauginso (Prancūzija) ir Ringstedo (Danija) miestuose, jungčių su traukos taškais neturėjo, todėl į juos atvykę automobilvežiai nebuvo nukreipiami alternatyviaisiais maršrutais. Tuo tarpu didžiausi gamyklų sutrikimai dėl itin didelio importo ir eksporto krovinių srauto disbalanso buvo fiksuojami Rytų Europoje, Ispanijoje bei Pietų Vokietijoje. Žvelgiant iš praktinės pusės, šie sutriki-

mai gali būti koreguojami naudotų, avarijose sudaužytų, sugedusių bei perdirbimui skirtų automobilių vežimu, o taip pat iš kitų kontinentų importuojamos produkcijos, kuri nebuvo įtraukta į šį modelį, transportavimu. F priede grafiškai pavaizduoti silpnu transporto ryšiu pasižymintys regionai bei pateikiami trūkio taškai pagal nustatytus indeksus.

Pastebima, jog krovininių eksporto iš atskirų gamyklų bei importo į šalių DC apimtys atitinkamais periodais nesutampa. Vadinasi, įvertinant transporto išteklių poreikį, būtina numatyti, jog maršruto atstumas bei tam tikri darbo laiko limitai turi didelę reikšmę užtikrinant reikiamą sunkvežimių parko dydį. Žemiau pavaizduotas importo, eksporto bei transportuojamų krovininių apimčių konkrečiu laiko periodu netolygumas parodo kintamą transporto poreikį (3.7 pav.).

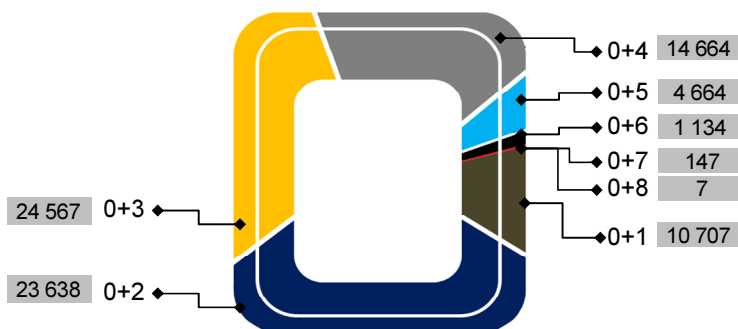


3.7 pav. Importo, eksporto ir transportuojamų krovininių apimtys

Fig. 3.7. Volume of import, export and transported loads

Per nustatytą vieno mėnesio periodą iš viso buvo pristatyti 539 655 automobiliai. Šiam procesui užtikrinti kasdien vidutiniškai prireikė 12 798 automobilvežių, kurie skirtingais maršrutais įveikė daugiau nei 100 milijonų kilometrų, iš kurių 9 677 925 – tuščia eiga. Pastarieji rodikliai parodė, jog važiavimas be krovinio sudarė apie 10 proc. nuo bendros ridos, kai tuo tarpu Eurostat 2009 m. duomenimis, šis rodiklis Europos krovininiam kelių transportui siekė 25 proc. Įvertinant, kad tai yra itin specifinė vežimų sritis, gautas rezultatas patvirtina, jog sukurtas transporto srautų jungimo algoritmas yra veiksminga priemonė mažinti tuščios eigos faktorių.

Didžiausias vieno automobilvežio vidutinis atstumas, 426 km per dieną, buvo reisuose, kurių vežimo trukmė tęsėsi keturias (0 + 4), o mažiausias 312 km – nuo penkių (0 + 5) iki aštuonių (0 + 8) dienų. Tai lėmė maršrutai, kurie tęsiasi per ilgesnį nei 5 dienų vežimo intervalą, nes ribodavosi su savaitgaliais, kada sunkvežimių darbas yra draudžiamas, bei distancijos, trumpesnės nei 500 km (ypač tais atvejais, kai transportavimo atstumas yra mažesnis nei 100 km), o jų įveikimo laikas buvo priskirtas vienos dienos periodui (0 + 1). 3.8 paveiksle matoma, jog modelyje daugiausiai sudarė nuotoliai, kuriems nuvažiuoti prireikė nuo vienos iki keturių dienų. Atsižvelgiant į maksimalias leistinas automobilvežio darbo ribas, vidutinė rida su krovinium sudarė 364 km/d. Atliktų skaičiavimų metu nė vienu atveju nebuvo pasiektas nustatytos ridos ekstremumas. Tai sąlygojo, jog maždaug 10 proc. važiavimo laiko dalis teko atstumo įveikimui iki kito pakrovimo taško. Kai kuriais atvejais buvo fiksuojamos prastovos, kurios susidarė dėl krovininių deficitų ir turėjo įtakos bendriems produktyvumo rodikliams.



3.8 pav. Maršrutų kiekis pagal krovininių pristatymo laiką

Fig. 3.8. Number of routes by lead time

Atsižvelgiant į 3.3 poskyryje minimą galimą pristatymo laiko L_t paklaidos, skirtos važiavimui tuščia eiga, nepakankamumą, pagal (3.17) formulę nustatyti parametrai buvo palyginti su faktiniais ir fiksuojami atvykimo sutrikimais A_c .

$$A_c = \begin{cases} L_t, & \text{if } L_t \leq (G + G_e) \cdot 0,002 \\ L_t + 1, & \text{if } L_t > (G + G_e) \cdot 0,002 \end{cases} \quad (3.17)$$

čia G – atstumas nuo gamyklų iki DC; G_e – važiavimo atstumas be krovinio. Skaičiavimo rezultatai parodė, jog pirmose dvejose iteracijose buvo atlikta 380, trečioje – 4 124 ir ketvirtoje – 4 725 pristatymo laiko korekcijos.

Remiantis pirmajame skyriuje pateikta skirtingų gamintojų atsargų skirstymo analize, pastebėta, jog produkcijos tiekimo efektyvumas matuojamas transportavimo atstumu, tenkančiu vienam automobiliui. Kadangi nei vienoje AGMVA nebuvo minima, kad šis rodiklis apima ir tuščią ridą, daroma prielaida, jog pateikti duomenys parodo tik su kroviniu įveiktą atstumą. Atlikus skaičiavimus gauti rezultatai parodė, jog vienam produkcijos vienetui tenkanti rida vidutiniškai sudarė 167 km, tačiau atsižvelgus į ankstesnes pastabas, šis rezultatas pakito 10 proc. ir sudarė 186 km/vnt.

Siekiant solidariai prisidėti prie atsakingo požiūrio į globalų poveikį aplinkai, taip pat derėtų atkreipti dėmesį ir į transporto resursų, naudojamų kiekvieno gamintojo tiekimo tinkle, sukeltus neigiamus aplinkosauginius padarinius. Todėl pasiūlyta vieningo skirstymo tinklo koncepcija, galėtų būti vienas iš įrankių, leidžiančių performuoti atskirų prekinių ženklų atstovų požiūrį į glaudesnę tarpusavio bendradarbiavimą, panaikinant dirbtinius barjerus, kas leistų sumažinti bendruosius nuostolius.

Pastebima, jog nėra skirtumo, ar automobilis yra parduodamas Miuncheno mieste, kuriame jis gaminamas, ar Hamburge, nutolusiame 600 km, visoje Vokietijoje, kaina už tą patį produktą yra vienoda. Vadinasi, bendri transportavimo kaštai, tenkantys tam tikros šalies ar regiono aprūpinimui, yra įskaičiuoti į galutinę produkto kainą. Nors pagamintų automobilių skirstymo sąnaudos, anot Holweg ir Pil (2004), kainodaroje sudaro tik 1,2 proc. dalį, logistinio proceso optimizavimas nėra ta kryptis, kuri galėtų ženkliai atpiginti patį gaminį. Tačiau įvertinant tai, jog galimai apie 50 proc. krovininės transporto priemonės yra naudojamos neefektyviai, parodo resursų perteklių ir tuo pačiu interesų sritį, kurioje turėtų būti skiriamas didesnis dėmesys.

Pirmajame naujų automobilių skirstymo variante nustatyti probleminiai produkcijos tiekimo taškai ir gauti rezultatai atskleidė tiekimo sistemos sutrikimus bei išteklių panaudojimo efektyvumą. Vadovaujantis šiais duomenimis kitame etape bus integruojamas geležinkelių bei jūrų transportas, kuris išsiskiria didesniu pakrovimo faktoriumi ir gali būti alternatyva amortizuojant krovininių srautų disbalansą, aptarnaujant blogai sujungiamus transporto regionus ir mažinant automobilvežių poreikį. Gauti abiejų skirstymo variantų rezultatai bus palyginti tarpusavyje ir pateikiamos bendrosios išvados.

3.5. Antrojo naujų automobilių skirstymo varianto formuluotė

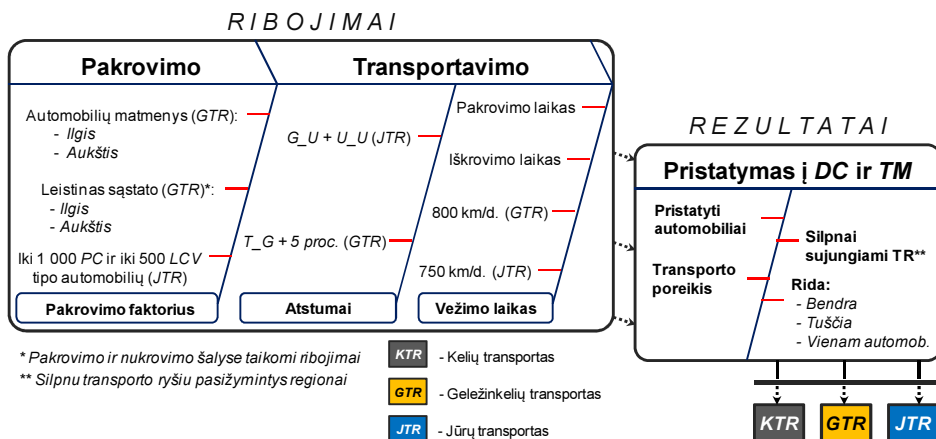
Nuolat augančios degalų kainos, didėjantys mokesčiai už kelių infrastruktūrą bei taršą – tai makro priemonės, kurios nuolat didina logistines sąnaudas ir tuo pačiu skatina pramonininkus daugiau dėmesio skirti į skirstymo procesų optima-

vimą, mažinant transporto resursų paklausą (Che 2012). Siekiant pakeisti kelių transporto dominavimą, viena iš siūlomų alternatyvų – geležinkelio (toliau GTR) ir jūrų transporto (toliau JTR) panaudojimas. Nors daugeliu atvejų tai laikoma itin efektyvia priemone minimizuojant vežimų kainą bei skirstant didelio kiekio atsargas, tačiau siekiant užtikrinti sklandų funkcinį ryšį reikia papildomai derinti automobilių gamybos ciklus, kad reikiamu metu būtų pakankamas produkcijos kiekis pilnai pakrauti atvykusius vagonus bei sinchronizuoti tarpinių perkrovimo mazgų ir tolimesnių tiekimo operacijų tęstinumą skirtinguose uostuose.

Dėl krovinių disbalanso Rytų bei Pietų Europos dalyje, kur eksportas sudaro didesnę dalį nei importas, didelio gamybinio našumo gamyklos patenka į silpnų transporto ryšių pasižyminčius regionus (F priedas), dėl ko ne visada gali būti garantuotas savalaikis gaminių išvežimas. Todėl labai svarbu, jog šie taškai būtų sujungti ne tik kelių, bet ir geležinkelių bėgių tinklais, kas sudarytų didesnio pasiekiamumo galimybes. Automobilių pramonė išsiskiria tuo, jog skirstymo grandinėse itin daug naudoja GTR. Kaip pavyzdį galima išskirti Magna Steyr ir Audi gamyklas Grace, Austrijoje, ir Giore, Vengrijoje, iš kurių atitinkamai apie 90, 70 proc. pagamintos produkcijos išvežama būtent šia transporto rūšimi (BMW Group 2010; Cross 2009). Vertinant galimus tiekimo sutrikimus, būtina atsižvelgti į vieną iš pasirinkimų tikslines rinkas aprūpinti JTR. Tarp šalių, pasižyminčių gerai išplėtotą uostų infrastruktūrą, gali būti naudojama „sėjimo“ koncepcija, pagal kurią laivas atstotų mobilią prekių lentyną. Šią priemonę daugiausiai naudoja Japonijos gamintojai, kurie net savo šalyje apie 70 proc. produkcijos skirsto JTR (Yuksel, Ludwig 2012). Ne išimtis ir Europa, pavyzdžiui, Ispanijoje išplėtus uostų tinklą nuo 3 iki 6 bei modernizavus infrastruktūrą, pritaikant automobilių perkrovimui bei sandėliavimui, 29 proc. krovinių srauto, skirto kelių transportui, buvo perkelta į JTR (SMMT 2009). Tačiau produkcijos skirstymas minėtomis transporto rūšimis nėra veiksmingas jų atžvilgiu, nes daugelis gamintojų pasirenka ribotą DC ar TM kiekį. Dėl to neretai šis sprendimas nulemia neproporcingus krovinių srautus silpnėse trauka pasižyminčiuose regionuose. Remiantis statistiniais atskirų Europos uostų duomenimis, Bremerhavene, Vokietijoje, eksportas yra du kartus didesnis nei importas, tuo tarpu Livorne, Italijoje importas 6 kartus viršija eksportą (Nieuwenhuis *et al.* 2012). Atliktos Europos geležinkelių įmonių, vežančių automobilius, apklausos duomenimis, tuščia vagonų rida sudaro apie 40 proc. nuo bendros ridos. Šie faktoriai leidžia teigti, kad GTR bei JTR vežamos produkcijos disbalansas yra kur kas didesnis nei kelių transportu. Todėl skirstymo efektyvumas negali būti vertinamas vien tik atstumu, tenkančiu vienam automobiliui, nes tam tikrais atvejais, atsižvelgus į tai, jog rida su kroviniu gali būti lygi distancijai tuščia eiga, šis rodiklis pakistų du kartus. Vadovaujantis pirmajame skyriuje pateikta Europos Sąjungos bei atskirų gamintojų metinių veiklos ataskaitų analize, buvo nustatyta esminė strategijos kryptis, nurodanti daigiarūšio transporto būtinybę. Tačiau

išskirtų pavienių geros praktikos pavyzdžių nepakanka pagrįsti šio sprendimo naudai, mažinant resursų poreikį bei užtikrinant efektyvų jų panaudojimą.

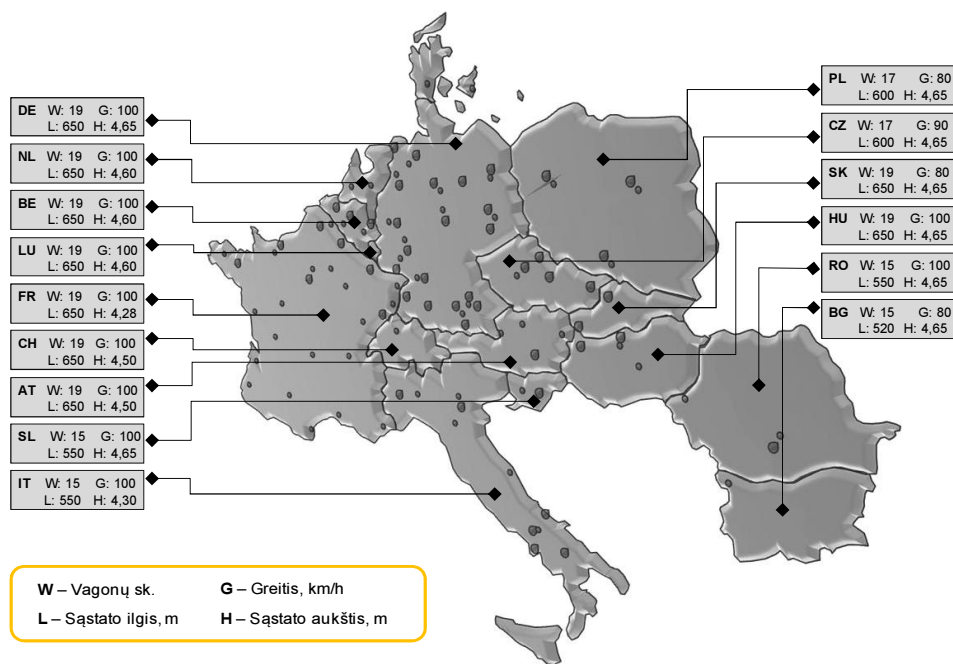
Pirmajame skirstymo variante taikomos metodikos pagrindu buvo suformuluotas testinis vieningo produkcijos skirstymo sprendimas, kurio tikslas yra įvertinti alternatyvių transporto rūšių įtaką esamiems krovinių srautams bei sudaryti tolimesnių tyrimų gaires. Šio uždavinio sąlygoje papildomai buvo sudaryti GTR ir JTR būdingi specifiniai ribojimai, skirti pakrovimo bei transportavimo operacijoms. Pristatyti automobiliai į DC ir TM apibendrina baigtinius tiekimo procesus, kurių suminiai rezultatai parodo konkrečiu laikotarpiu pristatytų automobilių kiekį ir transporto priemonių poreikį (3.9 pav.). Antrojo skirstymo varianto sąlygomis gauti logistinės veiklos efektyvumą apibūrinantys ridos rodikliai bus palyginti su pirmajame skirstymo variante gautais rezultatais.



3.9 pav. Ribojimų ir siekiamų rezultatų schema antrajam skirstymo variantui
Fig. 3.9. Scheme of limitations and obtaining results for the second supply option

Pirmajame skirstymo variante apskaičiuotos konkrečiu laiko momentu pagamintų automobilių apimtys ir pagal traukimo koeficientus nustatyti produkcijos tiekimo į tikslinių rinkų DC vektoriai bus atskaitos taškai nustatant alternatyvių transporto priemonių paklausą. GTR stumiamą srautą lems traukos intensyvumas proporcingas pakrovimo faktoriui į pilną sublokuotų vagonų sąstatą. Tuo tarpu JTR būtinos papildomos atvežimo, perkrovimo ir išvežimo operacijos. Todėl vežimui laivais buvo sudarytos tam tikros zonos, kuriose ne didesniu nei 250 km spinduliu TM ribojasi su gamyklomis bei DC. Siekiant užtikrinti papildomą funkcinę ryšį, formuojama sąlyga, jog kroviniai į tarpinį mazgą pristatomi vietinių kelių transportu. Kadangi modelyje nebuvo įtraukti galimi vežimai šalies viduje, apskaičiuotas transportavimo atstumas tarp pasiūlos centrų ir uostų

(toliau G_U) bus pridamas prie JTR distancijos (toliau U_U). Papildomai sudarytos jungtys tarp TM ir DC bei jų nuotoliai (toliau T_U), skirti nustatyti galimus donorinius mazgus, kurie dalinai perimtų tam tikriems DC priskirtus krovinių srautus. Pavyzdžiui, Danijoje esantys DC Vamdrupo ir Ringstedo miestuose atitinkamai 69 km ir 64 km atstumu ribojasi su Esbjergo ir Kopenhagos uostais. Todėl siekiant išvengti skirstymo operacijų dubliavimosi, šiuo atveju DC atstotų TM, iš kurio produkcija į pardavimo centrus būtų pristatoma tiesiogiai.



3.10 pav. Pasirinkta geležinkelių transporto teritorija ir jai būdingi parametrai
Fig. 3.10. Selected railway territory and characteristic parameters

Sudarant GTR ir JTR maršrutų žemėlapių buvo atsižvelgta į skirtingose šalyse geležinkelio vėžės plotį bei uostų infrastruktūrą, kuri yra pritaikyta automobilių pakrovimo, sandėliavimo, iškrovimo operacijoms. Kadangi atskirose geležinkelių linijose kiekvienoje pasirinktoje šalyje nėra taikomi vienodi sublokuotų traukinių ilgio bei greičio ribojimai, atlikti skaičiavimams buvo nustatomi fiksuoti dydžiai. Aukščiau pateiktame 3.10 paveiksle yra pavaizduota GTR parinkta teritorija ir jai būdingi parametrai. Jūrų uostų tinklas ir kontinentinės laivybos linijos buvo nustatytos remiantis Grimaldi, Wallenius Wilhelmsen, UECC,

K'line, NYK, Neptune, MOL, Eukor bei Höegh pateikta informacija (C priedas). Beje, tai yra pagrindinės įmonės, kurių specializuoti RO–RO tipo keltai užtikrina automobilių vežimą visame pasaulyje.

Daugelyje tyrimų pastebėta, jog geležinkelių transportas nėra itin patrauklus dėl sudėtingų planavimo procesų, kurie skirti krovinių vagonų grupavimui ir formavimui į pilnus sąstatus. Skirtingai nei Jungtinėse Valstijose ar Kanadoje, kur atskirų vagonų užlaikymas manevrinėse stotyse dažniausiai būna dėl to, jog laiku neatvyksta lokomotyvas, tuo tarpu Europoje – dėl nepilno krovinių vagonų sąstato (Jeong *et al.* 2007). Atsižvelgiant į šią problemą modelyje buvo įvedama papildoma sąlyga, jog iš gamyklų GTR gali išvykti tuomet, kai yra pakankamas kiekis produkcijos užtikrinti pilną pakrovimą. Atsižvelgiant į skirtingose šalyse leistinus maksimalius traukinių ilgio ribojimus (3.10 pav.), pakrovimo taške buvo nustatytas galimas vagonų kiekis W . Jei minėti infrastruktūriniai limitai tarp valstybių skiriasi, tuomet palyginus eksporto ir importo teritorijoje sublokuotų vagonų skaičių pasirenkama mažesnė reikšmė ir apskaičiuojama pagal žemiau pateiktą (3.18) formulę:

$$W = \begin{cases} R_{ex}, & \text{if } R_{ex} \leq R_{im} \\ R_{im}, & \text{if } R_{ex} > R_{im} \\ 0, & \text{if } R_{ex} = 0 \\ 0, & \text{if } R_{im} = 0 \end{cases}, \quad (3.18)$$

čia R_{ex} – maksimalus sublokuotų vagonų skaičius eksporto šalyje; R_{im} – maksimalus sublokuotų vagonų skaičius importo šalyje.

Nustatant kiek kiekviena gamykla per vieną dieną gali išsiųsti, o DC ar TM priimti krovinių transporto priemonių, buvo įvertinta krovimo operacijų trukmė, skirta JTR bei GTR. „The 3 Day Car Logistics Study“ studijoje minima, jog kontinentinius maršrutus aptarnaujantys laivai uostuose sustoja tik 5–6 val., o tarpkontinentiniai keltai daugiau nei 24 val. (Holweg *et al.* 2001). Skirtingai nei kelių transporte, GTR bei JTR pakrovimo bei iškrovimo darbus atlieka išvykstančio, atvykstančio terminalo ar uosto samdomas personalas. Šis veiksnys JTR lemia nuo 20 proc. iki 30 proc. visos vežimo kainos (Ludwig 2011). Atsižvelgiant į atliktos Europos geležinkelių transporto įmonių, vežančių automobilius, vadovų apklausos rezultatus (A priedas), pastebima, jog daugiau nei 200 automobilių į sublokuotą vagonų sąstatą pakraunami ir pritvirtinami per 4–5 val. intervalą. Esant šioms sąlygoms, modelyje įtraukiamas ribojimas, jog per vieną dieną konkrečiame išsiuntimo ar atvykimo mazge per vieną dieną jūrų bei geležinkelių transporto priemonėms gali būti užtikrintos ne daugiau 2 krovimo operacijos.

Alternatyviojo transporto poreikis buvo nustatomas, atsižvelgiant į anksčiau išskirtus ribojimus bei pirmajame skirstymo variante nustatytas stumiamos pro-

dukcijos apimtis į tikslinių rinkų DC. Ties kiekvienu maršrutu gamykloje esančių automobilių kiekis V buvo padalintas iš fiksuoto pakrovimo faktoriaus į vieną vagoną LF_w ir tokiu būdu nustatomas vagonų poreikis W_s . Šalyse, kuriose negali būti vykdomi vežimai GTR, $LF_w = 0$.

$$W_s = \begin{cases} \left\lfloor \frac{V}{LF_w} \right\rfloor, & \text{if } LF_w > 0 \\ 0, & \text{if } LF_w \leq 0 \end{cases} \quad (3.19)$$

Jei produkcijos paklausa tam tikrose jungtyse yra didesnė arba lygi nustatytam pakrovimo faktoriui į pilnai sublokuotą vagonų sąstatą R_s , tuomet ties kiekvienu maršrutu įvedama papildoma reikšmė, kuri bylos apie galimą vežimą kita transporto rūšimi.

$$R_s = \begin{cases} \left\lfloor \frac{V}{LF_w \cdot W_s} \right\rfloor, & \text{if } W_s > 0 \\ 0, & \text{if } W_s \leq 0 \end{cases} \quad (3.20)$$

Suapvalinus gautas reikšmes į mažesnę pusę, pakrovimo taške likę automobiliai turi būti išvežti kelių transportu. Automobilvežių paklausa A_s apskaičiuojama pagal šią formulę:

$$A_s = \begin{cases} \left\lfloor \frac{S - (R_s \cdot W_s \cdot LF_w)}{LF_A} \right\rfloor, & \text{if } R_s > 0 \\ A, & \text{if } R_s \leq 0 \end{cases} \quad (3.21)$$

čia, LF_A – fiksuotas pakrovimo faktorius į vieną automobilvežį; A – automobilvežių skaičius; S – surenkamų automobilių pasiūla atskiroje gamykloje. Jei tam tikruose maršrutuose nėra galimybės taikyti vežimus GTR, paliekama pirmajame naujų automobilių skirstymo variante nustatyta transporto poreikio reikšmė, šiuo atveju A . Kadangi uždavinio formuluotėje buvo ribojamas dalinių krovinų vežimas dėl skirtingų pakrovimo faktorių, gamyklose gali susidaryti neišvežtų automobilių atsargos, kurios bus išskiriamos apibendrinant antrojo skirstymo varianto rezultatus.

Šiame modelyje nėra gamyklų, kurios yra dislokuotos uostų teritorijose ir ribojasi su laivų švartavimo krantinėmis. Todėl produkcija, skirta JTR iki TM, bus pristatoma tik kelių transportu. Vadinasi, pakrovimo faktorius gamykloje bus lygus LF_A , o TM – viename kelte negali viršyti 2.3 poskyryje nustatytų maksimalių ribų. Pagal anksčiau minėtas galimų alternatyviajam transportui skirtų maršrutų sudarymo sąlygas, taip pat kaip ir GTR atmetimo būdu bus suformuotos stumiamos produkcijos kryptys. Jei iš skirtingų pasiūlos taškų, nutolusių ne didesniu nei 250 km atstumu nuo uosto, atvykusių automobilių kiekis yra ma-

žesnis nei 500 vienetų, šios jungtys yra atmetamos. Priešingu atveju, jūrinių keltų paklausa konkrečiame uoste nustatoma suminį pristatytų gaminių į TM rezultatą padalinus iš 500. Kadangi JTR pasižymi didžiausiu pakrovimu, gauta reikšmė nėra apvalinama į mažesnę pusę ir tam, kad būtų išvengta produkcijos grąžinimo iš TM į gamyklą, toleruojamas nežymus nuokrypis (iki 10 proc.).

Remiantis RNE atskirų koridorių duomenimis, pastebėta, jog geležinkelių trasų ilgis nėra proporcingas nuotoliui automobilių keliais. Kadangi šis skirtumas nėra žymus, prie jau apskaičiuotų T_G, GTR papildomai buvo pridedama 5 proc. Išnagrinėjus 1.1 lentelėje pateiktus automobilių transportavimui skirtus projektus pagal Marco Polo programą ir susisteminius duomenis pastebėta, jog per vieną dieną pilnas vagonų sąstatas vidutiniškai gali nuvažiuoti 800 km. Todėl produkcijos pristatymo greitis LR_i bus lygus atstumą G padauginus iš nustatyto laiko koeficiento 0,00125.

$$LR_i = G \cdot 0,00125. \quad (3.22)$$

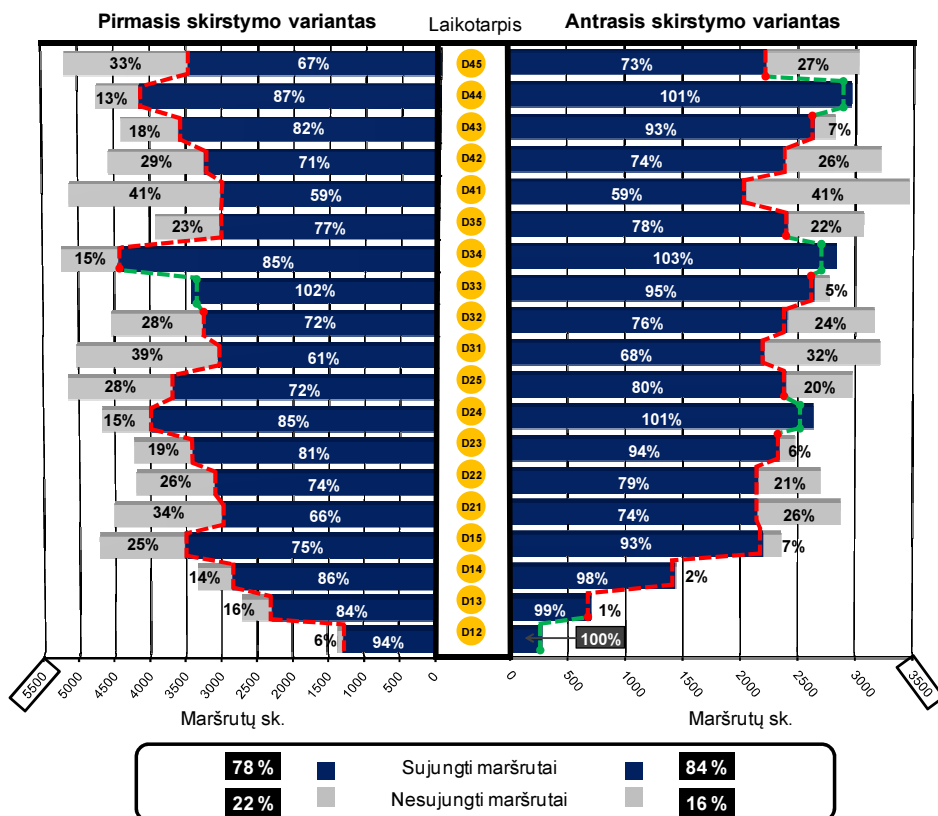
Produkcijos pristatymo laikas GTR bus apskaičiuojamas pagal 3.2 paveiksle pateiktą veiksmų seką. Važiavimo laikas JTR buvo nustatytas įvedant fiksuotas reikšmes, kurios sudarytos remiantis atskirų laivybos įmonių pateikta maršrutų įveikimo trukme. Todėl nereikės atlikti papildomų veiksmų apskaičiuojant produkcijos pristatymo greitį. Išnagrinėjus jūrinių keltų techninius parametrus, buvo nustatytas vidutinis važiavimo nuotolis per vieną dieną, kuris yra lygus 750 km. Šis rodiklis bus reikalingas siekiant įvertinti pervežto automobilio ridos faktorių.

Kadangi tam tikrame laiko intervale jūrų ir geležinkelių transporto priemonių pakrovimo ir iškrovimo operacijų skaičius yra ribotas, tam, kad nesusidarytų prastovos bei tiekimo trikdžiai, išvykimo laikas buvo nustatomas atsitiktiniu būdu. Atlikti pirminiai skaičiavimai parodė, jog nepaisant prieš tai minėtos sąlygos kai kuriuose importo taškuose vienu metu atvykdavo daugiau nei 2 traukiniai ar jūriniai keltai. Užfiksavus šiuos sutrikimus, paskutiniame maršrutų parinkimo etape šios jungtys buvo panaikintos ir priskirtos kelių transportui. Apibendrinant galima paminėti, jog pirmajame skirstymo variante iš viso buvo suformuotos 5 810 skirtingos jungtys tarp gamyklų ir DC, tuo tarpu antrajame – 5 810 kelių, 378 GTR ir 157 JTR.

Siekiant sumažinti neefektyvių resursų panaudojimą, transporto priemonės, atvykusios į paskirties vietą, negali būti nukreipiamos į taškus, iki kurių nuvykti prireiktų visos darbo dienos, t. y. antrojo skirstymo varianto atveju nuotolis neturi viršyti 800 km GTR, 750 km JTR ir 500 km kelių transportui. Apskaičiuoti galimų kitų pakrovimo alternatyvoms GTR skirtos iteracijos apėmė mazgus, nutolusius 200 km, 400 km, 600 km ir 800 km, tuo tarpu JTR – 300 km 450 km, 600 km ir 750 km atstumų ribose (3.5 pav.).

3.6. Antrojo skirstymo varianto rezultatų apibendrinimas

Pirmajame naujų automobilių skirstymo variante atlikti skaičiavimai parodė, jog papildomai integravus JTR ir GTR, ieškant kito pakrovimo taško kelių transportui, 55 proc. galimų jungimų buvo atliekami pirmoje iteracijoje, antroje – 30 proc., trečioje – 7 proc. ir ketvirtoje – 8 proc. Lyginant su ankstesnių skaitinių tyrimų rezultatais pastebima, jog antrajame produkcijos skirstymo variante sujungtų ir nesujungtų maršrutų tendencija išlieka tomis pačiomis dienomis, tačiau D_{24} , D_{34} ir D_{44} periodais pavyko užtikrinti visą tomis dienomis pagamintos produkcijos eksportą. Pirmosios savaitės antradienį 83 automobilvežiams neužteko krovinių, todėl susidarė vienos dienos prastovos. Šis faktorius galimai lėmė itin gerą visos savaitės jungimo rezultatą (3.11 pav.).



3.11 pav. Transporto srautų jungimo algoritmo efektyvumo palyginimas
Fig. 3.11. Comparison of efficiency of transport flow connection algorithm

Palyginus tiekimo proceso sutrikimus, kuriuos nulėmė regioninis krovininių disbalansas, alternatyvių transporto rūšių dėka pavyko sumažinti susikaupusių krovininių kiekį gamyklose 46 proc. ir 62 proc. vežimų, kurie neturėjo tęstinumo, t.y. tam tikruose DC, iš kurių automobilvežiai nebuvo nukreipiami alternatyviaisiais maršrutais.

Nustatytu vieno mėnesio periodu iš viso buvo pristatyti 328 200 automobilių naudojant kelių transportą, 89 031 – GTR ir 168 394 – JTR. Šiam procesui kasdien vidutiniškai prireikė 7 840 automobilvežių, 802 vagonų ir 23 keltų, kurie skirtingais maršrutais įveikė daugiau nei 62 mln. kilometrų, iš kurių 10 proc. – tuščia eiga. Geležinkelių transporto priemonių panaudojimas dėl transporto srautų regioninio disbalanso ir nepakankamo krovininių kiekio tam tikrose gamyklose, atstumuose iki kito pakrovimo nebuvo toks efektyvus ir nuvažiuotas atstumas be krovinio sudarė apie 28 proc. Tačiau palyginus su A priede pateiktos apklausos rezultatais, galime teigti, jog pritaikius sukurta transporto srautų jungimo algoritmą galima pasiekti geresnius transporto resursų panaudojimo rodiklius. Jūrų transporto rida be krovinio sudarė apie 14 proc. Tuo tarpu automobilvežių tuščios ridos rezultatas išliko toks pats kaip ir pirmajame skirstymo variante ir sudarė apie 10 proc. Susumuoti gauti rezultatai parodė, jog vienam produkcijos vienetui tenkantis vežimo atstumas sudarė 96 km, o pridėjus įveiktą kilometražą, kuris buvo skirtas vykimui iki kito pasikrovimo taško, šis rodiklis pasiekė 107 km/vnt.

3.1 lentelė. Pirmojo ir antrojo produkcijos skirstymo variantų rezultatų palyginimas
Table 3.1. Comparison of results of the first and the second production distribution options

Rezultatai	1 variantas	2 variantas			
		Viso	Transporto rūšys		
			Kelių	Geležinkelių	Jūrų
Transporto poreikis per dieną, vnt./d.	12 798	8 665	7 840	802	23
Maršrutų skaičius, vnt.	5 810	6 345	5 810	378	157
Rida su kroviniais, km	90 780 408	56 308 578	54 959 187	523 641	825 750
Rida be krovinio, km	9 677 925	6 543 837	6 205 775	203 638	134 424
Rida vienam automobiliui, km/vnt.	186	107	186	8	6
Vidutinis automobilių pristatymo laikas, d.	3	3	3	2	4
Vidutinė rida su kroviniais per dieną, km/d.	367	523	364	635	570
Naujų automobilių importas į DC, vnt.	539 665	585 625	328 200	89 031	168 394
Naujų automobilių eksportas iš gamyklų, vnt.	642 676				

Pagal pirmąjį naujų automobilių skirstymo variantą atlikti skaičiavimai parodė, jog vieno automobilio pristatymas vidutiniškai truko mažiau nei 3 dienas, tuo tarpu antrasis – atskleidė, jog integravus GTR ir JTR atvežimo laikas nepakito (3.1 lentelė).

Nors alternatyvių transporto rūšių tuščia rida yra kur kas didesnė nei kelių transportu, tačiau šis faktorius bendrame produkcijos skirstymo modelyje neiškreipė šio rodiklio ir sudarė 10 proc. Geležinkelių transporto panaudojimas lėmė, jog per vieną mėnesį gamyklose susikaupė 5 247 neišvežtų automobilių atsargos. Tai sąlygojo skirtingi pakrovimo faktoriai į vieną vagoną ir vieną automobilvežį, kurie nėra identiški. Be to, krovininėms transporto priemonėms buvo ribojamas dalinių krovininių vežimas.

Atliktų skaitinių eksperimentų rezultatai parodė, jog hipotetiniame produkcijos tiekimo ir transporto srautų modelyje taikytos alternatyvios skirstymo priemonės neišsprendė visų naujų automobilių skirstymo tinklo sutrikimų (3.11 pav.). Todėl tokio pobūdžio problemų sprendimui tolimesniuose tyrimuose siūloma įvertinti galimybę suformuoti tarpines skirstymo funkcijas, tačiau būtina atkreipti dėmesį, jog tai gali lemti vežimo operacijų pasikartojimą, kuris formuoja bendruosius logistinės veiklos nuostolius netikslingai naudojant transporto išteklius.

3.7. Trečiojo skyriaus išvados

1. Pritaikius sukurta transporto srautų jungimo algoritmą naujų automobilių skirstymo variantuose buvo nustatyta, jog papildomų transporto rūšių integravimas per pusę gali sumažinti geografinį krovininių disbalansą.

2. Gauti pirmojo naujų automobilių skirstymo varianto rezultatai parodė, jog didžiausi tiekimo sistemos trūkiai dėl mažo gamybinio pajėgumo bei didelės automobilių paklausos yra Šiaurės Italijoje bei Centrinėje Prancūzijoje, o didžiausi gamyklų sutrikimai dėl krovininių importo bei eksporto netolygumo buvo užfiksuoti Rytų Europoje, Ispanijoje bei Pietų Vokietijoje.

3. Naujų automobilių skirstymo tinklo optimizavimui skirta alternatyvi priemonė panaudoti didesniu pakrovimo faktoriumi išsiskiriančias transporto rūšis leido 6 proc. padidinti krovininio kelių transporto sujungiamų maršrutų kiekį, tačiau gauti rezultatai parodė, jog 16 proc. maršrutų neturėjo tęstinumo, todėl neišvengiamai formuojasi būtinybė atidžiau pažvelgti į tarpinius procesus bei kurti papildomas priemones, leidžiančias išvengti nenaudingų, nuostolių kuriančių procesų.

Bendrosios išvados

1. Skaitiniam eksperimentui atlikti panaudotas klasikinio transporto uždavinio sprendimas parodė, jog ieškant pigiausios arba kitaip mažiausią suminę reikšmę turinčios skirstymo alternatyvos buvo neįvertinami brangiausi arba didžiausiu atstumu nutolę skirstymo tinkle esantys taškai. Šis rezultatas atskleidė, kad tokio pobūdžio sprendimuose panaikinami ekonomiškai nenaudingi taškai, o tai lemia, jog tam tikri regionai nebus aprūpinami reikiama produkcija ir susiformuos deficitas.

2. Dinaminių maršrutų sprendimuose taikomos pasiekiamumo ribos bei pastovus produkcijos skirstymo jungčių kiekis riboja nustatyti tiekimo sistemos sutrikimus bei sudaryti maršrutų performavimo galimybes juos keičiant alternatyviaisiais. Todėl siekiant padidinti sujungiamų maršrutų apimtį, siūloma sudaryti papildomas galimybes transporto priemonėms vykti į tolimesnius taškus, tačiau nustatyti ribiniai paieškos nuotoliai negali viršyti maksimalios transporto priemonių ridos per vieną dieną.

3. Pirmojo ir antrojo naujų automobilių skirstymo variantų sąlygomis automobilvežių važiavimas be krovinių sudarė apie 10 proc. nuo bendros ridos. Įvertinant, kad tai yra itin specifinė vežimų sritis, gautas rezultatas patvirtina, jog sukurtas transporto srautų jungimo algoritmas yra veiksminga priemonė mažinti tuščios eigos faktorių.

4. Atlikus skaitinius tyrimus nustatyta, kad produkcijos srautas iš mažesnio gamybinio pajėgumo gamyklų yra peradresuojamas į didesnę infrastruktūrinę laidumą, turintį skirstymo centrą – tai daro įtaką regioniniam produkcijos deficito susiformavimui bei tarpinių skirstymo operacijų poreikiui.

5. Nustatyta, kad geležinkelių transporto priemonių panaudojimas dėl transporto srautų regioninio disbalanso ir nepakankamo krovinių kiekio tam tikrose gamyklose, atstumuose iki kito pakrovimo, lyginant su kitomis transporto rūšimis, nebuvo efektyvus, ir nuvažiuotas atstumas be krovinio sudarė iki 28 proc., kai tuo tarpu automobilvežiams šis rodiklis siekė apie 10 proc., o keltams – 19 proc., todėl siekiant pagerinti šį rodiklį, skirstymo operacijose siūloma įvertinti pavienių vagonų naudojimo galimybes.

6. Papildomų transporto rūšių integravimas į bendrą produkcijos skirstymo tinklą leidžia sumažinti transportavimo atstumą, skirtą vienam produkcijos vienetui iki 42 proc., užtikrinti mažesnes susikaupusių neišvežtos produkcijos apimtis gamyklose iki 62 proc.

Literatūra ir šaltiniai

Badri, H.; Bashiri, M.; Hejazi, T. H. 2013. Integrated strategic and tactical planning in a supply chain network design with a heuristic solution method, *Computers & Operations Research* 40 (4): 1143–1154.

Baltoji knyga. Bendros Europos transporto erdvės kūrimo planas. Konkurencingos efektyvių išteklių naudojimu grindžiamos transporto sistemos kūrimas. Europos Komisija, Briuselis, 2011. 9 p.

Bashiri, M.; Badri, H.; Talebi, J. 2012. A new approach to tactical and strategic planning in production – distribution networks, *Applied Mathematical Modelling* 36 (4): 1703–1717.

Becker, H. 2007. Auf Crashkurs, *Automobilindustrie im globalen Verdrängungswettbewerb*, 2nd edn. Springer. 35 p.

BMW. 2010. Efficient transport logistics, *Sustainable Value Report 2010*. BMW Group, Munich. 74–77.

Bock, S. 2010. Real-time control of freight forwarder transportation networks by integrating multimodal transport chains, *European Journal of Operational Research* 200 (3): 733–746.

Bong, H. B.; Ludwig, C. 2012. Taking everything on board, Cover story Ford of Europe, *Finished Vehicle Logistics* 7 (3): 16–22.

- Cardoso, S. R.; Pova, A. P. F. D.; Relvas, S. 2013. Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities, *European Journal of Operational Research* 226 (3): 436–451.
- Chang, C. W.; Chiang, D. M.; Pai, F. Y. 2012. Cooperative strategy in supply chain networks, *Industrial Marketing Management* 41 (7): 1114–1124.
- Che, Z. H. 2012. A particle swarm optimization algorithm for solving unbalanced supply chain planning problems, *Applied Soft Computing* 12 (4): 1279–1287.
- Coelho, C. L.; Cordeau, J. F.; Laporte, L. 2012a. Consistency in multi-vehicle inventory-routing, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 24 (5): 270–287.
- Coelho, C. L.; Cordeau, J. F.; Laporte, L. 2012b. The inventory-routing problem with transshipment, *Computers & Operations Research* 39 (11): 2537–2548.
- Comoglio, C.; Botta, S. 2012. The use of indicators and the role of environmental management systems for environmental performance improvement: a survey on ISO 14001 certified companies in the automotive sector, *Journal of Cleaner Production* 20 (1): 92–102.
- Cordeau, J. F.; Laporte, G.; Moccia, L.; Sorrentino, G. 2011. Optimizing yard assignment in an automotive transshipment terminal, *European Journal of Operational Research* 215 (1) 149–160.
- Cross, B. 2009. Economy slows down automotive rail, European rail, *Automotive Logistics* 12 (4): 44–47.
- Eck, A.; Ludwig, C. 2009. Group in motion, Cover story Volkswagen Group, *Finished Vehicle Logistics* 4 (3): 22–28.
- Eck, A.; Ludwig, C. 2012. Delivering on targets, Cover story Volkswagen Group, *Finished Vehicle Logistics* 7 (4): 24–26.
- Eskigun, E.; Uzsoy, R.; Preckel, P. V.; Beaujun, G.; Krishnan, S.; Tew, J. D. 2005. Outbound supply chain network design with mode selection, lead times and capacitated vehicle distribution centers, *European Journal of Operation Research* 165 (1): 182–206.
- European Automobile Manufacturers' Association (ACEA). 2010. *The Automobile Industry Pocket Guide*. Brussels. 61 p.
- European Automobile Manufacturers' Association (ACEA). 2012. *The Automobile Industry Pocket Guide*. Brussels. 45–31.
- European Automobile Manufacturers' Association (ACEA) [online]. 2010. *Historical series 2006–2009: New Passenger car registrations by country*. Available from Internet: http://www.acea.be/news/news_detail/new_vehicle_registrations_by_country/.
- Eurostat [online]. 2012. Available from Internet: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained.
- FIAT. 2010. Economic, environmental and social responsibility, logistics. *Sustainability Report 2010*. Fiat S.p.A., Turin. 106–109.

Fries, N.; de Jong, G.C.; Patterson, Z.; Weidmann, U. 2010. Shipper willingness to pay to increase environmental performance in freight transportation, *Transportation Research Record* (2168): 33–42.

Fu, B.; Huo, Y.; Zhao, H. 2012. Coordinated scheduling of production and delivery with production window and delivery capacity constraints, *Theoretical Computer Science*, 422: 39–51.

Georgiadis, C.; Tsiakis, P.; Lionginidis, P.; Sofioglu, M.K. 2011. Optimal design of supply chain network under uncertain transient demand variations, *Omega* 39 (3): 254–272.

Goetschalckx, M.; Huang, E.; Mital, P. 2013. Trading off supply chain risk and efficiency through supply chain design, in *Procidia Computer Science, Conference on Systems Engineering Research* (CSER'13) 16: 658–667.

Grieneisen, E.; Hermes, A. 2012. Instrument zur komparativen Prozessanalyse und -bewertung für die Distributionslogistik am Beispiel der Volkswagen AG, *Automobillogistik*. Springer. 277 p.

Gromer, S. 2006. *Die Automobilindustrie in Deutschland. Eine Untersuchung auf Basis des Konzepts der Koordinationsmängeldiagnose*: Doktoro disertacija. Westfälische Wilhelms-Universität Münster. Hamburg: Kovac. 179 p.

Güttner, A.; Dittrich, T. S. 2008. Current Issues at OEMs and Supplier, in *Build-to-Order: The Road to the 5-Day Car*. Springer (4): 55–73.

Hahn, T.; Figge, F.; Barkemeyer, R.; Liesen, A. 2009. Eine Analyse der nachhaltigen Performance der Automobilhersteller weltweit, *Sustainable Value in der Automobilproduktion*. Sustainable Value Research Ltd. 10 p.

Herault, M. C. A.; Caire, R.; Raison, B.; Said, N. H.; Bienia, W. 2012. Optimizing traditional urban network architectures to increase distributed generation connection, *Electrical Power and Energy Systems*, 35 (1): 148–157.

Holweg, M.; Disney, S. M.; Hines, P.; Naim, M. M. 2005. Towards responsive vehicle supply: a simulation-based investigation into automotive scheduling systems, *Journal of Operations Management* 23 (5) 507–530.

Holweg, M.; Miemczyk, J. 2003. Delivering the '3-day-car' – the strategic implications for automotive logistics operations, *Journal of Purchasing & Supply Management* 9 (2) 63–71.

Holweg, M.; Pil, F. K. 2004. *The Second Century: Reconnecting Customer and Value Chain through Build-to-Order*. Cambridge, Mass: MIT Press. 12 p.

HONDA. 2010. Transportation, *Honda Environmental Annual Report 2010*. Honda Motor Co., Ltd., Tokyo. 48–51.

Huang, R.; Menezes, M. B. C.; Kim, S. 2012. The impact of cost uncertainty on the location of a distribution center, *European Journal of Operational Research* 218 (2): 401–407.

International Organisation of Motor Vehicle Manufacturers (OICA) [online]. 2010. *World Motor Vehicle Production by country and type 2005–2010: passenger cars*. Available from internet: <http://oica.net/category/production-statistics/2010-statistics/>.

InTerTrans. 2011. Integrierte Terminierung und Transportplanung für komplexe Wertschöpfungsstrukturen, in *Verbundbericht zum Projektabschluss*. 106 p.

Yuksel, L.; Ludwig, C. 2012. Toyota shows its colours in Europe, Cover Story Toyota Motor Europe, *Finished Vehicle Logistics* 15 (4): 24–33.

Jeong, S. J.; Lee, C. G.; Bookbinder, J. H. 2007. The European freight railway system as a hub-and-spoke network, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 41 (6): 523–536.

Jiang, Z.; Huang, Y.; Wang, J. 2010. Routing for the Milk-Run Pickup System in Automobile Parts Supply, in *Proceedings of the 6th CIRP-Sponsored International Conference on Digital Enterprise Technology*, Hong Kong: AISC, 1267–1275.

Jin, M.; Luo, Y.; Eksioglu, S. D. 2008. Integration of production sequencing and outbound logistics in the automotive industry, *International Journal of Production Economics* 113 (2): 766–774.

Junevičius, R.; Bogdevičius, M. 2009. Mathematical modelling of network traffic flow, *Transport* 24(4): 333–338.

Kaya, O.; Kubal, D.; Ormeci, L. 2013. Stochastic models for the coordinated production and shipment problem in a supply chain, *Computers & Industrial Engineering* 63 (4): 838–849.

Keršys, A. 2011. Sustainable urban transport system development reducing traffic congestions costs, *Engineering Economics* 22 (1): 5–13.

Klibi, W.; Martel, A. 2012. Scenario-based supply chain network risk modeling, *European Journal of Operational Research* 223 (3): 644–658.

Klug, F. 2010. Distributionslogistik im Automobilbau, *Logistikmanagement in der Automobilindustrie, Grundlagen der Logistik im Automobilbau*. Springer. 431 p.

Krog, E. H.; Statkevich, K. 2008. Kundenorientierung und Integrationsfunktion der Logistik in der Supply Chain der Automobilindustrie, *Das Beste der Logistik: Innovationen, Strategien, Umsetzungen*. Springer. 187 p.

Kroon, F.; Vernier, T.; Ludwig, C. 2012. Partners in search of partnership, Renault Nissan Alliance, *Finished Vehicle Logistics* 7 (1): 18–24.

Lai, K. H.; Wong, C. W. Y. 2012. Green logistics management and performance: Some empirical evidence from Chinese manufacturing exporters, *Omega* 40 (3): 267–282.

Lee, K.H. 2012. Carbon accounting for supply chain management in the automobile industry, *Journal of Cleaner Production* 36: 83–93.

Li, J.; Xiong, N.; Park, J. H.; Liu, C.; Ma, S.; Cho, S. 2009. Intelligent model design of cluster supply chain with horizontal cooperation, *Journal of Intelligent Manufacturing* 23 (4): 917–931.

- Liao, C. J.; Lin, Y.; Shih, S. C. 2010. Vehicle routing with cross-docking in the supply chain, *Expert Systems with Applications* 37 (1): 6868–6873.
- Liao, T. W.; Egbelu, P. J.; Chang, P. C. 2012. Two hybrid differential evolution algorithms for optimal inbound and outbound truck sequencing in cross docking operations, *Applied Soft Computing* 12 (11): 3683–3697.
- Liu, S. Y.; Li, C.; Feng, Y. P.; Rong, G. 2013. Clustering structure and logistics: A new framework for supply network analysis, *Chemical Engineering Research and Design*: doi/10.1016/j.cherd.2013.02.021.
- Ludwig, C. 2011. Daimler grows amid a divided Europe, *Finished Vehicle Logistics* 6 (1): 28–32.
- Marques, G.; Lamote, J.; Thierry, C.; Gourc, D. 2012. A supply chain performance analysis of a pull inspired supply strategy faced to demand uncertainties, *Journal of Intelligent Manufacturing* 23 (1): 91–108.
- MAZDA. 2010. Prevention of global warming (manufacturing/logistics), *Mazda Sustainability Report 2010*. Mazda Motor Corporation, Issuing Department: CSR & Environment Department, Hiroshima. 30–31.
- McKinnon, A. 2010. European freight transport statistics: limitations, misinterpretations and aspirations, *Report for the 15th ACEA Scientific Advisory Group Meeting*, Brussels. 10 p.
- Melo, M. T.; Nickel, S.; Gama, F. S. D. 2012. A tabu search heuristic for redesigning a multi-echelon supply chain network over a planning horizon, *International Journal of Production Economics* 136 (1): 218–230.
- Menzel, W.; Lentes, J.; Döring, A.; Ericsson, R.; Siljemyr, L. 2010. Dynamic supply loops – a concept for flexible and faster automotive supply network management (Advanced Manufacturing and Sustainable Logistics), *Lecture Notes in Business Information Processing* 46: 130–140.
- Micevičienė, D.; Bazaras, Ž.; Čiburienė, J.; Boguslauskas, V. 2009. Multicriteria analysis measurement of the road transport corridor impact on the environment, in *Proceedings of the 15th International Conference on Urban Transport and the Environment*, Southampton: WIT Press, 505–515.
- Moll, S.; Weidmann, U.; Nash, Andrew. 2012. Methodological framework for analyzing ability of freight rail customers to forecast short-term volumes accurately, *Transportation Research* (2289): 126–133.
- Nieuwenhuis, P.; Beresford, A.; Choi, A. K. Y. 2012. Shipping or local production? CO₂ impact of a strategic decision: An automotive industry case study, *International Journal of Production Economics* 140 (1): 138–148.
- NISSAN. 2010. Protecting the environment, *Nissan Sustainability Report 2010*. Nissan Motor Co., Ltd., Global Communications and CSR Division, CSR Group, Kanagawa. 30–31.

Palm, D.; Florian, M.; Sihn, W. 2012. Transport optimization by logistics oriented production scheduling in the automotive industry, in *Proceeding of the 19th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, Berkeley, 611–615.

Palšaitis, R.; Ponomariovas, A. 2012. Assessment of rail freight transport service quality, *Transport and Telecommunication* 13 (3): 188–192.

Park, J.; Kim, B. I. 2010. The school bus routing problem: A review, *European Journal of Operational Research* 202 (2): 311–319.

Pimentel, B. S.; Mateus, G. R.; Almeida, F. A. 2013. Stochastic capacity planning and dynamic network design. *International Journal of Production Economics*: doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.01.019.

Qiang, P.; Nagurney, A. 2012. A bi-criteria indicator to assess supply chain network performance for critical needs under capacity and demand disruptions, *Transportation Research Part A* 46 (5): 801–812.

Reichhart, A.; Holweg, M. 2008. Build-to-Order: Impacts, Trends and Open Issues, *Build-to-Order: The Road to the 5-Day Car*. Springer (3): 36–53.

Richter, K.; Hartig, P. 2007. Aufbau globaler Netzwerke als Erfolgsfaktor in der Automobilindustrie, in *Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz, Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten*. Springer (3): 251–264.

Rieck, J. 2011. Ein Framework für die Bewertung großer, internationaler Transportnetze: Berücksichtigung von Netzwerkdesign und Tourenbildung, in *Supply Management Research, Aktuelle Forschungsergebnisse 2011*. Springer. 245–254.

Sadjadi, S. J.; Jafari, M.; Mini, T. 2009. A new mathematical modeling and a genetic algorithm search for milk run problem (an auto industry supply chain case study), *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 44 (5): 193–200.

Sanz, F. J. G.; Semmler, K.; Walther, J. 2007. Die Automobilindustrie auf dem Weg zur globalen Netzwerkkompetenz, *Effiziente und flexible Supply Chains erfolgreich gestalten*. Springer. 253 p.

Shakeri, M.; Low, M. Y. H.; Lee, E. W. 2012. A robust two – phase heuristic algorithm for the trucks scheduling problem in a resource – constrained crossdock, *Computers & Operations Research* 39 (11): 2564–2577.

Shu, J.; Li, Z.; Shen, H.; Wu, T.; Zhong, W. 2012. A logistics network design model with vendor management inventory, *International Journal of Production Economics* 135 (2): 754–761.

Sivilevičius, H. 2011. Modelling the interaction of transport systems elements, *Transport* 26 (1): 20–34.

SUZUKI. 2010. Environmental&Social Report 2010. Environmentally – Friendly Distribution. 44–45.

The Association of European Vehicle Logistics (ECG). 2008. The Vehicle Logistics Sector, Chapter 3, *2008/2009 Survey on Vehicle Logistics*. Italy. 113–207.

The Association of European Vehicle Logistics (ECG). 2009. Operations Quality Manual, Version 4.03. 9–16.

The Society of Motor Manufacturers and Traders (SMMT). 2009. *11 th annual sustainability report*. London. 11–12.

TOYOTA. 2010. Environmental performance, vehicle logistics, *Toyota European Sustainability Report 2010*. Toyota Motor Europe NV/SA, Brussel. 38–39.

Toshinori, N.; Katsuhiko, H.; Masataka, H. 2010. Milk-run logistics by Japanese automobile manufacturers in Thailand, *Procedia Social and Behavioral Sciences* 2 (3): 5980–5989.

Turkensteen, M.; Klose, A. 2012. Demand dispersion and logistics costs in one-to-many distribution systems, *European Journal of Operational Research* 223 (2): 499–507.

Vahdani, B.; Moghaddam, R.T.; Zandieh, M.; Razmi, J. 2012. Vehicle routing scheduling using an enhanced hybrid optimization approach, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23 (4): 759–774.

VOLKSWAGEN. 2009. Driving Ideas, *Sustainability report 2009/2010*. Volkswagen Aktiengesellschaft, Wolfsburg. 22 p.

Wagenitz, A. 2007. *Modellierungsmethode zur Auftragsabwicklung in der Automobilindustrie*: Doktorarbeit. Universität Dortmund. 112 p.

Wang, L.; Kong, F.; Cao, J.; Wang, Y. 2011. Research on the application and optimization countermeasures of auto parts Milk-run logistics mode, in *Proceedings of the IEEE 18th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Beijing: IEEM, 195–200.

Zernechel, T.; Ludwig, C. 2011. Group Dynamics, Cover Story Volkswagen Group, *Finished Vehicle Logistics* 14 (3): 18–24.

Autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Vasilis Vasiliauskas, A.; Vilkelis, A.; Zinkevičiūtė, V.; Batarlienė, N. 2010. Development of automobile distribution networks on the basis of multi-criteria evaluation of distribution channels, *Transport* 25 (4): 361–367. ISSN 1648-4142. (Thomson ISI WOS).

Vilkelis, A.; Jakovlev, S. 2013. Outbound supply chain collaboration modelling based on the automotive industry, *Transport* doi:10.3846/16484142.2013.789980 – Accepted. ISSN 1648-4142. (Thomson ISI WOS).

Straipsniai kituose leidiniuose

Vilkelis, A.; Kaušylas, M. 2011. Assessment of cargo flow covering transport of automobiles via territory of Lithuania, in *Proceedings of the 8th International Conference "Environmental Engineering", held in Vilnius on May 19–20, 2011*, Vilnius: Technika, 1235–1239. ISBN 978-9955-28-829-9. (ISI Proceedings).

Vilkelis, A. 2011. Utilisation of transport capacities and opportunity to mitigate negative environmental impact of logistics operations, in *Proceedings of the 7th International Scientific Conference "TRANSBALTICA 2011", held in Vilnius on May 5–6, 2011*, Vilnius: Technika, 275–279. ISBN 978-9955-28-840-4.

Vilkelis, A.; Greičiūnė, L. 2012. Europos krovinių srautų geografinio pasiskirstymo ir logistinių procesų priklausomybės analizė [Analysis of dependence between geographical distribution of European freight flows and logistic processes], *Transporto inžinerija ir vadyba* [Transport engineering and management]: 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2012 m. gegužės 4 d., straipsnių rinkinys. Vilnius: Technika, 72–76. ISBN 978-6094-57-132-9.

Vilkelis, A. 2012. Automobilių rinkos pokyčių įtaka Lietuvos vežėjams [Impact of changes in the automotive market upon Lithuania carriers], *Transporto inžinerija ir vadyba* [Transport engineering and management]: 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“, įvykusios Vilniuje 2012 m. gegužės 4 d., straipsnių rinkinys. Vilnius: Technika, 77–80. ISBN 978-6094-57-132-9.

Priedai⁶

A priedas. Geležinkelių transporto įmonių, vežančių automobilius, vadovų apklausos rezultatai

B priedas. Automobilių gamintojų logistikos skyrių vadovų apklausos apie likutinės produkcijos skirstymo problemą rezultatai

C priedas. Naujų automobilių gamyklų, skirstymo centrų bei uostų sąrašas ir žemėlapis

D priedas. Automobilių gamintojų, gamyklų vietų, grupių, surenkamų modelių tipų bei pagamintos produkcijos apimčių per metus duomenys

E priedas. Įvairių transporto rūšių pakrovimo faktoriaus reikšmės

F priedas. Silpnu transporto ryšiu pasižyminčių regionų žemėlapis

G priedas. Susistemintų ir apdorotų statistinių duomenų fragmentas

⁶ Priedai pateikiami pridėtoje kompaktinėje plokštelėje

Aurimas VILKELIS

AUTOMOBILIŲ SKIRSTYMO TINKLO MODELIAVIMAS JUNGIANČIŲ GAMINTOJŲ
TIEKIMO KANALUS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
transporto inžinerija (03T)

Aurimas VILKELIS

MODELLING OF THE AUTOMOTIVE DISTRIBUTION NETWORK BY MERGING
SUPPLY CHANNELS OF MANUFACTURERS

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Transport Engineering (03T)

2013 08 23. 9,25 sp. I. 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