

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Vaidotas KONDROŠKA

REGIONINIŲ ORO ERDVĖS BLOKŲ FORMAVIMO REMIANTIS SKRYDŽIŲ SRAUTAIS METODIKOS SUKŪRIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,
TRANSPORTO INŽINERIJA (03T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2012

Disertacija rengta 2008–2012 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Mokslinis vadovas

Prof. habil. dr. Jonas STANKŪNAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, transporto inžinerija – 03T).

VGTU leidyklos TECHNIKA 2052-M mokslo literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-609-457-339-2

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2012

© Vaidotas, Kondroška, 2012

vaidotas.kondroska@vgtu.lt

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Vaidotas KONDROŠKA

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR
THE FORMATION OF REGIONAL
AIRSPACE BLOCKS ACCORDING TO
TRAFFIC FLOWS

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
TRANSPORT ENGINEERING (03T)



Vilnius TECHNICA 2012

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2008–2012.

Scientific Supervisor

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

Reziumė

Disertacijoje nagrinėjamos oro erdvės stambinimo galimybės, taikant esamus erdvės diskretizavimo ir klasteriavimo metodus.

Disertacijos tyrimų objektas yra regioninių oro erdvės blokų formavimas remiantis skrydžių srautais.

Disertacijos tikslas yra sukurti regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodiką.

Darbe sprendžiami keli regiono oro erdvės organizavimo uždaviniai, susiję su sąlygų efektyvesnei oro eismo vadybos sistemos veiklai užtikrinti sudarymu. Uždaviniai suformuluoti atsižvelgus į oro erdvės naudotojų lūkesčius, efektyvesnių skrydžių užtikrinimo aktualumą ir siejami su transporto veiklos efektyvumo gerinimo problema.

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, rezultatų apibendrinimas, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai ir šeši priedai.

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

Pirmasis skyrius skirtas oro eismo vadybos sistemos ir oro erdvės organizavimo metodų apžvalgai bei literatūros analizei. Skyriaus pabaigoje formuluojamos išvados ir tikslinami disertacijos uždaviniai.

Antrajame skyriuje pateikiami oro eismo vadybos sistemoje taikomi oro erdvės organizavimo metodai ir priemonės.

Trečiajame skyriuje pateikiama regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodika, jos pagrindimas, taikymo oro eismo vadybos sistemoje galimybės.

Ketvirtajame skyriuje aprašomas eksperimentinis tyrimas. Parodytos regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodikos galimybės.

Disertacijos tema yra parašyti septyni moksliniai straipsniai: vienas – mokslo žurnale, įtrauktame į *Thomson ISI* duomenų bazę, penki – periodiniuose recenzuojamuose žurnaluose ir vienas kituose leidiniuose. Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti šešiose mokslinėse konferencijose.

Abstract

The dissertation examines the airspace consolidation possibilities by using existing space discretisation and clusterisation methods.

The research object is the formation of regional airspace blocks according to traffic flows. The aim of the dissertation is to develop the methodology for the formation of regional airspace blocks with reference to the traffic flows.

The dissertation aims to solve a few problems of the organization of the regional airspace, associated with the formation of conditions for more efficient operation of the air traffic management system. The objectives are formulated according to the expectations of the airspace users, the relevance of ensuring more efficient flights and are associated with the transport efficiency improvement problem.

The dissertation consists of an introduction, four chapters, a summary of the results, the lists of reference and the author's publications on the dissertation topic and six appendices.

The introductory chapter discusses the problem of the research, the topicality of the research, describes the object of the research, formulates the aim and tasks, describes the methodology of the research, the scientific novelty, its practical value and hypotheses. At the end of the introduction, the author's publications, reports in conferences on the dissertation topic as well as the structure of the dissertation are presented.

Chapter one is intended for the review of the air traffic management systems and the methods of the airspace organization as well as for the analysis of the literature. At the end of the chapter, the conclusions are formulated and the tasks of the dissertation are revised.

Chapter two provides the methods and measures applied in the air traffic management system for the organisation of the airspace.

Chapter three provides the methodology of the formation of regional airspace blocks, its development and the opportunities of the application in the air traffic management system.

Chapter four provides the experimental research and presents the opportunities of the methodology for the formation of regional airspace blocks according to traffic flows.

Seven scientific articles are written on the dissertation topic: one in the scientific journal, included in the Thomson ISI data base, five – in the reviewed scientific periodical publications and one in other editions. The results of the researches, performed in the dissertation, were announced in six scientific conferences.

Žymėjimai

Simboliai

ϕ_i, λ_i – taško i geografinė platuma ir ilguma

R – Žemės spindulys

s_{ij} – atstumas sferos paviršiuje

$d_{1,2}$ – atstumas Dekarto koordinatinių sistemoje

$(\mathbf{x}_1; \mathbf{y}_1)$ – taško koordinatės Dekarto koordinatinių sistemoje

E^n – standartinė erdvė

X^n – skaičiuojamoji erdvė

i – objekto eilės numeris

m – analizuojamų objektų skaičius

O_i – objektas i

$x_i^{(k)}$ – objekto O_i k – toji savybė

ρ_{ij} – artumas tarp objektų (savybių)

IM – maksimalus taškų skaičius ξ

JM – maksimalus gardelės taškų skaičius η

Simboliai

ATFM – skrydžių srautų vadyba (angl. Air Traffic Flow Management)

EATCHIP – Europos skrydžių valdymo harmonizavimo ir integracijos programa (angl. European Air Traffic Control Harmonisation and Integration Programme)

EATMP – Europos oro eismo vadybos programa (angl. European Air Traffic Management Programme)

ECAC – Europos civilinės aviacijos šalių konferencija (angl. European Civil Aviation Conference)

ECIP – Europos konvergencijos ir diegimo planavimo mechanizmas (angl. European Convergence and Implementation Plan)

ESSIP – Europos bendro dangaus diegimo programa (angl. European Single Sky Implementation)

FAB – funkcinis oro erdvės blokas (angl. Functional Airspace Block)

ICAO – tarptautinė civilinė aviacijos organizacija (angl. International Civil Aviation Organization)

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos (angl. USA – United States of America)

NM – jūrmylė (angl. Nautical Mile)

OEB – oro erdvės blokas (angl. Airspace Block)

OEV – oro eismo vadyba (angl. ATM – Air Traffic Managment)

SES – bendras Europos dangus (angl. Single European Sky)

SPP – skrydžiai pagal prietaisus (angl. FIR – Instrument flights)

SV – skrydžių valdymas (angl. ATC – Air Traffic Control)

SVC – skrydžių valdymo centras (ATCC – Air Traffic Control Center)

SIR – skrydžių informacijos regionas (angl. FIR – Flight Information Region)

Turinys

IVADAS.....	1
Problemos formulavimas.....	1
Darbo aktualumas.....	3
Tyrimų objektas.....	3
Darbo tikslas.....	3
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodika	4
Darbo mokslinis naujumas	4
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	4
Ginamieji teiginiai	5
Darbo rezultatų aprobavimas.....	5
Disertacijos struktūra.....	6
 1. ORO EISMO VADYBOS SISTEMOS IR ORO ERDVĖS ORGANIZAVIMO APIBRĖŽTIS BEI TYRIMO METODŲ APŽVALGA	 7
1.1. Oro navigacijos paslaugų ir oro eismo vadybos sistemos apžvalga.	8
1.2. Oro erdvės naudotojai, jų poreikių analizė.....	11
1.3. Oro eismo vadybos sistemų efektyvumo analizė.....	13
1.4. Oro erdvės organizavimo regiono mastu analizė.....	18
1.5. Pagrindinių oro erdvės organizavimo tyrimo metodų apžvalga	20
1.6. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas.....	23

2. ERDVINĖS ANALIZĖS METODAI, JŲ PANAUDOJIMAS ORO ERDVĖS FORMAVIMUI	25
2.1. Gardelių apžvalga.....	26
2.2. Gardelių generavimo metodų analizė	29
2.3. Duomenys ir objektų ar jų savybių klasifikavimas.....	32
2.4. Klasterinės analizės apžvalga	34
2.4.1. Klasterinės analizės metodų grupės	35
2.4.2. Klasterinės analizės taikymas	37
2.4.3. Klasterių sudarymo metodai	39
2.4.4. Hierarchiniai klasterizavimo metodai	42
2.5. Antrojo skyriaus išvados	44
3. REGIONINIŲ ORO ERDVĖS BLOKŲ FORMAVIMO METODIKOS SUDARYMAS.....	45
3.1. Regioninių oro erdvės blokų formavimo uždaviniai	46
3.2. Tiriamos oro erdvės nustatymo analizė	47
3.3. Taikomų duomenų analizė	51
3.4. Gardelės taikymas oro erdvės tyrimui regiono mastu	53
3.5. Regioninių oro erdvės blokų nustatymo kriterijai	60
3.6. Klasterizacijos taikymas	63
3.7. Trečiojo skyriaus išvados	64
4. REGIONINIŲ ORO ERDVĖS BLOKŲ FORMAVIMO EUROPOS REGIONE TYRIMAS	67
4.1. Tiriamos oro erdvės formavimas.....	69
4.2. Analizuojamų duomenų parinkimas ir oro erdvės tyrimas	71
4.2.1. Svorinės gardelės nuo žemės iki 195 skrydžių lygio formavimas	74
4.2.2. Svorinės gardelės nuo 195 iki 285 skrydžių lygio formavimas	76
4.2.3. Svorinės gardelės nuo 285 iki 415 skrydžių lygio formavimas	78
4.2.4. Svorinės gardelės nuo 415 iki 660 skrydžių lygio formavimas	80
4.2.5. Bendros svorinės gardelės formavimas	82
4.3. Klasterių formavimas tiriamoje oro erdvėje.....	84
4.4. Regioninių oro erdvės blokų formavimas	89
4.5. Ketvirtojo skyriaus išvados	96
BENDROSIOS IŠVADOS	99
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI.....	101
AUTORIAUS PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS	109
PRIEDAI.....	111
A priedas. Svorinė gardelė oro erdvės sluoksnyje nuo žemės iki 195 skrydžių lygio	112
B priedas. Svorinė gardelė oro erdvės sluoksnyje nuo 195 iki 285 skrydžių lygio	114

C priedas. Svorinė gardelė oro erdvės sluoksnyje nuo 285 iki 415 skrydžių lygio	116
D priedas. Svorinė gardelė oro erdvės sluoksnyje nuo 415 iki 660 skrydžių lygio	118
E priedas. Klasterių formavimo duomenys	120
F priedas. Svorinės gardelės ląstelių duomenų pavyzdžiai.....	123
G priedas. Projektų disertacijos tema sąrašas, kuriuose autorius dalyvavo	124

Contents

INTRODUCTION.....	1
Research problem.....	1
Relevance of research.....	3
Research object	3
Research aim	3
Tasks of the work	3
Methods of the work	4
Scientific innovation of research and its importance.....	4
Practical applicatin of research.....	4
Defended propositions.....	5
Aprobation of research results.....	5
Structure of the dissertation.....	6
 1. DEFINITION OF AIR TRAFFIC MANAGEMENT SYSTEM AND AIRSPACE MANAGEMENT. OVERVIEW OF RESEARCH METHODS	 7
1.1. Overview of the Air Navigation Services and Air Traffic Management System	8
1.2. Airspace Users. Analysis of their needs	11
1.3. Efectivness of Air Traffic Management Systems	13
1.4. Analysis of airspace organization at regional basis	18
1.5. Review of the main airspace organization analysis methods	20
1.6. First chapter conclusions and formulation of dissertation goals.....	23

2. METHODS OF SPACE ANALYSIS AND THEIR USAGE FOR THE FORMATION OF REGIONAL AIRSPACE BLOCKS	25
2.1. Overview of Grids	26
2.2. Analysis of Grid generation Methods	29
2.3. Data and object Classification	32
2.4. Overview of Clustering Analysis	34
2.4.1. Groups of Clustering analysis Methods	35
2.4.2. Application of Clustering Analysis.....	37
2.4.3. Clusters Formation Methods.....	39
2.4.4. Hierarhical Clustering.....	42
2.5. Second chapter conclusions.....	44
3. DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR THE FORMATION OF REGIONAL AIRSPACE BLOCKS.....	45
3.1. Tasks for Regional Airspace Blocks Formation	46
3.2. Analysis of Airspace Definition	47
3.3. Analysis of Data	51
3.4. Application of Grid For Airspace Analysis	53
3.5. Criteria for Airspace Blocks Formation	60
3.6. Aplication of Clustering	63
3.7. Thrid chapter conclusions.....	64
4. ANALYSIS OF REGIONAL AIRSPACE BLOCKS FORMATION IN THE EUROPEAN REGION	67
4.1. Design of the analysed Airspace	69
4.2. Data detection and Airspace Analysis	71
4.2.1. Weighted grid for Airspace Layer from ground up to Flight levelL 195	74
4.2.2. Weighted grid for Airspace Layer from 195 up to Flight level 285	76
4.2.3. Weighted grid for Airspace Layer from 285 up to Flight level 415	78
4.2.4. Weighted grid for Airspace Layer from 415 up to Flight level 660	80
4.2.5. Formation of Commoin Grid.....	82
4.3. Formation of Clusters	84
4.4. Formation of Regional Airspace Blocks	89
4.5. Fourth chapter conclusions.....	96
GENERAL CONCLUSIONS	99
REFERENCES	101
LIST OF PUBLISHED WORKS ON THE TOPIC OF THE DISERTATION	109
ANNEXES	111
Annex A. Weighted grid for Airspace Layer from ground up to flight level 195	112
Annex B. Weighted grid for Airspace Layer from flight level 195 up to flight level 285.....	114

Annex C. Weighted grid for Airspace Layer from flight level 285 up to flight level 415	116
Annex D. Weighted grid for Airspace Layer from flight level 415 up to flight level 660.....	118
Annex E. Cluster formation data	120
Annex F. Examples of weighted grid cells data	123
Annex G. List of the projects on the topic of disertatation	124

Įvadas

Problemos formulavimas

Oro eismo vadybos sistema (OEV) yra pagrindas užtikrinant aviacijos transporto sistemos saugą, efektyvumą ir aplinkosaugą. Oro erdvės naudotojų vienas pagrindinių tikslų yra oro OEV efektyvumo didinimas – tiesesnių skrydžių maršrutų, trumpesnio užlaikymo, ypač orlaiviui esant ore, užtikrinimas ir išlaidų už pačios sistemos teikiamas oro navigacijos paslaugas mažinimas. OEV sistema, kaip ir visa aviacija neįsivaizduojama be oro erdvės, kurios organizacija, t. y. pritaikymas atitinkamoms oro navigacijos paslaugoms teikti, nustato, kaip efektyviai šios paslaugos yra teikiamos.

Kiekviena valstybė yra sukūrusi ir palaiko savo OEV sistemą, taigi daugeliu atvejų visos sudėtinės šios sistemos dalys vystomos neatsižvelgiant į kaimynines šalis arba tik iš dalies keičiantis informacija apie vykdomus projektus ir planus. Įvertinant tai, kad šiandien aviacijos transportas yra daugiausia tarptautinė transporto rūšis, kai skrydis prasideda vienoje ir baigiasi kitoje, dažniausiai net ne kaimyninėje, šalyje, skrydžiai tiesiogiai yra veikiami skirtingų šalių oro eismo vadybos sistemų, kartu ir oro erdvės organizavimo.

Nors tarptautinė civilinė aviacijos organizacija (ICAO) yra gana detaliai reglamentavusi įvairias OEV sritis, taip pat ir oro erdvės organizavimo principus

bei oro kelių nustatymo procedūras, skirtingų šalių ir regionų oro eismo vadybos sistemos skiriasi savo efektyvumu.

Skirtingų regionų – Jungtinių Amerikos Valstijų (JAV) ir Europos regiono (Europos civilinės aviacijos konferencijos šalių (ECAC) OEV sistemų palyginimas rodo, kad jų efektyvumas labai skiriasi. Nors per kelis pastaruosius dešimtmečius Europos regione buvo įgyvendinamos OEV sistemos efektyvumą gerinančios priemonės – Europos skrydžių valdymo harmonizavimo ir integracijos programa (EATCHIP), kuri vėliau buvo pakeista į Europos oro eismo vadybos programą (EATMP), taip pat Europos konvergencijos ir diegimo planavimo (ECIP) mechanizmas, kuris, įgyvendinant bendro Europos dangaus koncepciją (SES), prieš keletą metų buvo pakeista į Europos bendro dangaus diegimo programą (ESSIP) – leido labai suvienodinti šiame regione esančių valstybių OEV sistemas, tačiau akivaizdu, kad kol kas jos nėra pakankamos.

Taigi, esama oro erdvės fragmentacija pagal valstybių sienas yra viena iš esminių kliūčių efektyvesniems skrydžiams užtikrinti. Aišku, atskiros atitinkamos priemonės gali turėti teigiamos įtakos OEV, kartu ir skrydžių efektyvumo didėjimui, tačiau tai būtų nežymus arba vietinis pagerinimas, nesudarantis sąlygų OEV sistemą pagerinti iš esmės. Pagal teritoriją didelių šalių pavyzdžiai rodo, kad oro erdvės organizavimas regiono mastu, nepaisant valstybių sienų, aišku, kartu įgyvendinant ir kitas priemones, yra viena iš prioritetinių OEV pokyčių kryptių. Idealiu atveju visa regiono oro erdvė būtų vientisa, tačiau, atsižvelgiant į oro eismo paslaugų teikimo ypatumus, ji turi būti padalinta į tam tikrą, nedidelį oro erdvės blokų skaičių, kurie, įgyvendinant taktinius oro eismo paslaugų teikimo tikslus, vėliau būtų dalinami į Regiono skrydžių valdymo centrų oro erdvę ir ją sudarančius skrydžių valdymo sektorius.

Disertacijoje oro erdvė analizuojama taikant metodus, leidžiančius diskretizuoti tiriamą oro erdvę ir susieti ją su statistiniais realiai vykdytų skrydžių duomenimis nekreipiant dėmesio į egzistuojančius oro erdvės elementus, skrydžių valdymo centrų išsidėstymu ar navigacinių priemonių tinklu. Tai sudaro sąlygas tiksliau identifikuoti pagrindinius skrydžių srautus ir būtent jų atžvilgiu sudaryti regioninius oro erdvės blokus.

Dėl egzistuojančio skirtingo įvairių skrydžio fazių pobūdžio, oro erdvės blokų nustatymo tikslumui užtikrinti oro erdvę būtina analizuoti bent jau dviejuose sluoksniuose – aukšutinėje ir žemutinėje oro erdvėje. Įvertinus gautus rezultatus visuose tiriamose oro erdvės sluoksniuose, taikant klasterizacijos metodus, sudaromi visai tiramai oro erdvei vieningi regioniniai oro erdvės blokai.

Darbo aktualumas

Vystantis aviacijos transportui didėja skrydžių skaičius ir OEV sistema, kuri yra oro navigacijos paslaugų teikimo pagrindas, turi užtikrinti, kad jie būtų ne tik saugūs, bet ir efektyvūs. Įvertinus didėjančių skrydžių srautų įtaką ir atsižvelgus į ne visada gerus OEV sistemos efektyvumo rodiklius, dabartinę OEV sistemą būtina keisti.

Esama oro erdvės fragmentacija pagal valstybių sienas riboja galimybes ar net visai užkerta kelią oro erdvės naudotojų dėl skrydžių efektyvumo gerinimo (vykdyti skrydžius optimaliomis trajektorijomis ir išvengti užlaikymo) lūkesčių įgyvendinimo. Viena iš sąlygų, įgalinančių dabartinę OEV sistemą tapti efektyvesne – oro erdvės dalių arba blokų, kurių ribose (šiuo metu oro erdvėje pagal valstybių sienas) organizuojamas oro navigacijos paslaugų teikimas, stambinimas.

Lyginamos atskiruose pasaulio regionuose funkcionuojančios OEV sistemos rodo, kad kuo mažesnė regiono oro erdvės fragmentacija, tuo skrydžiai efektyvesni. Taigi, sąlygas efektyvesniems skrydžiams pirmiausia gali sudaryti tik oro erdvės stambinimas regiono mastu, t.y. regioninių oro erdvės blokų suformavimas.

Tyrimų objektas

Tyrimų objektas yra regioninių oro erdvės blokų formavimas remiantis skrydžių srautais.

Darbo tikslas

Sukurti regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodiką.

Darbo uždaviniai

Darbo tikslui pasiekti darbe reikia spręsti šiuos uždavinius:

1. Atlikti oro erdvės organizavimo ir skrydžių efektyvumo sąryšio analizę.
2. Atlikti oro erdvės analizės metodų ir taikomų modelių analizę.

3. Sukurti regiono oro erdvės modeliavimo remiantis skrydžių srautais metodiką.
4. Atlikti regiono oro erdvės modeliavimo remiantis skrydžių srautais metodikos taikymo tyrimus Europos regiono oro erdvei.

Tyrimų metodika

Darbe naudojami teoriniai ir eksperimentiniai tyrimų metodai.

Teorinių tyrimų dalyje analizuojami gardelių nustatymu erdvėje ir klasterizacijos algoritmais grindžiami analitiniai oro erdvės organizavimo metodai.

Eksperimentiniai tyrimai atlikti naudojant Europos regiono oro erdvės modelį ir realių skrydžių duomenis joje bei taikant modeliavimo metodus programiniais paketais SAAM; SkyVieW ir SPSS.

Darbo mokslinis naujumas

Rengiant disertaciją buvo gauti šie transporto inžinerijos mokslui nauji rezultatai:

1. Pasiūlytas regiono oro erdvės skaidymo į regioninius oro erdvės blokus principas, grindžiamas horizontalios skrydžių trajektorijos efektyvumo užtikrinimo ir oro eismo paslaugų teikimo aspektais.
2. Pasiūlyta regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodika yra grindžiama nepriklausomu tiriamos oro erdvės diskretizavimu (realiai vykdomų skrydžių pagrindu) bei hierarchinių klasterizavimo metodų (pagal tyrimą tenkinančius kriterijus) taikymu. Tyrimo metu ši metodika sėkmingai buvo pritaikyta Europos regiono oro erdvėje sudarant regioninius oro erdvės blokus.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Sukurta regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodika yra tinkama diegti regioninius oro erdvės blokus naujai reorganizuojamoje didelės apimties oro erdvėje bei atliekant kitus oro erdvės stambinimo projektus.

Sukurta metodika, sudarytų sąlygas numatyti Lietuvos, Baltijos FAB ir kitų regionų plėtos kryptis, geriausiai atitinkančias oro erdvės naudotojų poreikius.

Ginamieji teiginiai

1. Formuojant regioninius oro erdvės blokus, tikslinga naudoti struktūrizuota kvadratine gardele pagrįstus analizės metodus bei realių skrydžių duomenis.
2. Formuojant regioninius oro erdvės blokus, tikslinga oro erdvę analizuoti skirtinguose oro erdvės sluoksniuose, įvertinant skirtingas skrydžio fazes ir skrydžių intensyvumą.
3. Formuojant regioninius oro erdvės blokus, tikslinga oro erdvės stuktūrą nustatyti nuosekliai: pradedant regiono oro erdve, vėliau ją skaidant į skrydžių valdymo centrus ir skrydžių valdymo sektorius.
4. Oro erdvės stambinimui regiono mastu, tikslinga taikyti hierarchinius klasteriavimo su apribojimais metodus.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema yra parašyti 7 moksliniai straipsniai: vienas išspausdintas – mokslo žurnale, įtrauktame į Thomson ISI duomenų bazę (Kondroška ir Stankūnas, 2012a); penki – recenzuojamuose periodiniuose žurnaluose (Stankūnas ir Kondroška, 2009; Kondroška ir Stankūnas, 2010; Stankūnas ir Kondroška, 2012b; Kondroška ir Stankūnas, 2012c; Kondroška ir Stankūnas, 2012d;) ir vienas – kituose leidiniuose (Kondroška ir Stankūnas, 2012e).

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai aprobuoti šešiose mokslinėse konferencijose:

- 12-ios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS 2009 metų teminėje konferencijoje AVIACIJOS TECHNOLOGIJOS, 2009 m., Vilniuje.
- Tarptautinėje konferencijoje „Aviation ‘2009“, 2009 m., Vilniuje.
- Respublikinėje mokslinėje konferencijoje AVIACIJA 2010, 2010 m., Vilniuje.
- Respublikinėje mokslinėje konferencijoje AVIACIJA 2011, 2011 m., Vilniuje.
- 15-ios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS, 2012 m. teminėje konferencijoje AVIACIJOS TECHNOLOGIJOS, 2012 m., Vilniuje.
- Respublikinėje mokslinėje konferencijoje AVIACIJA 2012, 2011 m., Vilniuje.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, rezultatų apibendrinimas, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai.

Darbo apimtis yra 124 puslapiai, tekste panaudotos 33 numeruotos formulės, 61 paveikslas, 3 lentelės ir 7 priedai. Rašant disertaciją buvo panaudoti 102 literatūros šaltiniai.

Oro eismo vadybos sistemos ir oro erdvės organizavimo apibrėžtis bei tyrimo metodų apžvalga

Šiame skyriuje apžvelgiamos oro navigacijos paslaugos, analizuojama oro eismo vadyba (OEV) ir oro erdvės organizavimo įtaka skrydžių efektyvumui.

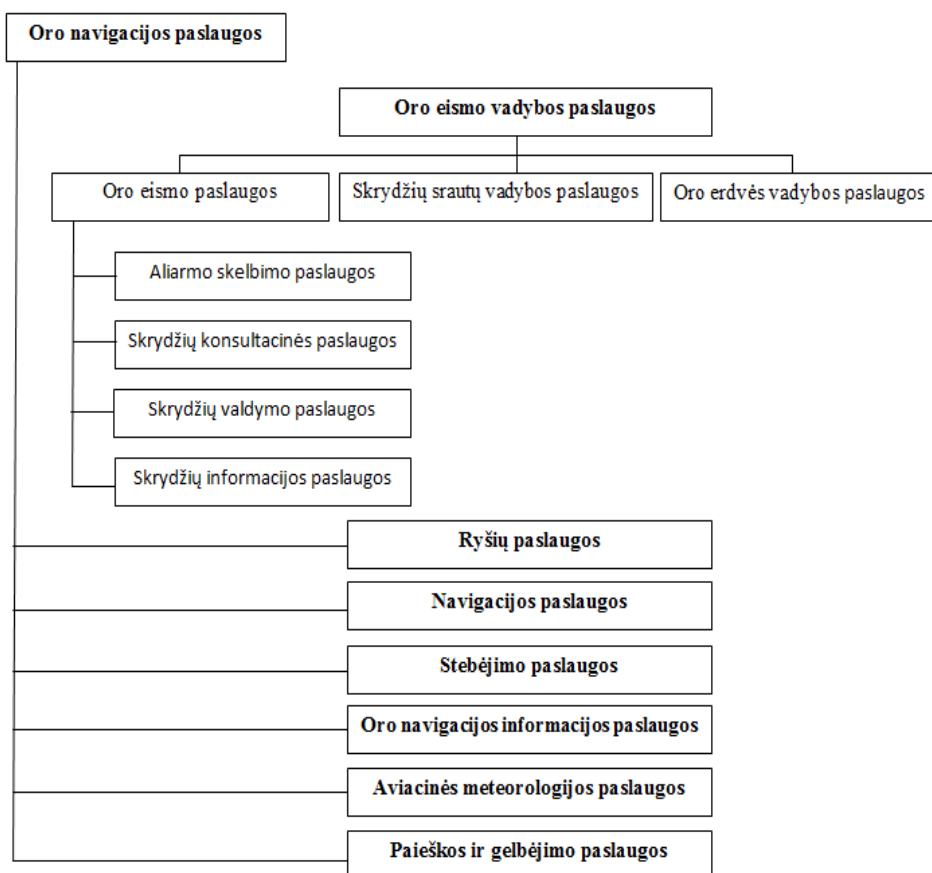
Apžvelgti oro erdvės organizavimo tyrimo principai ir metodai, identifikuoti veiksniai, neigiamai veikiantys OEV sistemos veiklos ir skrydžių operacijų efektyvumą, kurie turėtų būti eliminuoti ar sumažinta jų įtaka atliekant erdvės organizavimą regiono mastu.

Šio skyriaus medžiaga aprobuota Tarptautinėje konferencijoje „*Aviation‘2009*“, 12-ios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“ 2009 m. teminėje konferencijoje „*Aviacijos technologijos*“ ir Respublikinėje konferencijoje „*Aviacija 2010*“ bei publikuota žurnale „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“, „*Aviacijos technologijos*“ (Stankūnas ir Kondroška, 2009; Kondroška ir Stankūnas, 2012c; 2010; Kondroška ir Stankūnas, 2012d).

1.1. Oro navigacijos paslaugų ir oro eismo vadybos sistemos apžvalga

Šiandieninė aviacinė sistema neįsivaizduojama be oro navigacijos paslaugų, užtikrinančių darnią šios sistemos veiklą. Plečiantis aviacijos transporto sektoriui, kintant naudojamoms technologijoms, taikomiems techniniams ir procedūriniais sprendimams šioms paslaugoms realizuoti, keičiasi ir keisis oro navigacijos paslaugų teikimo organizavimas ir būdai.

Tarptautinė civilinės aviacijos organizacija (ICAO) yra suklasifikavusi oro navigacijos paslaugas pagal vykdomas funkcijas (1.1 pav.).

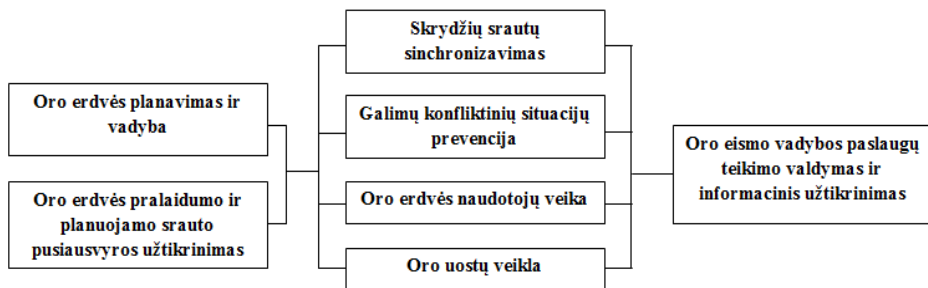


1.1 pav. Oro navigacijos paslaugų klasifikacija pagal ICAO
Fig. 1.1. Classification of the Air navigation services by ICAO

Būtent OEV sistemos paslaugos, kurios yra atitinkamų, glaudžiai viena su kita susijusių, oro navigacijos paslaugų rinkinys, padedamos taikomų techninių, technologinių, informacinių (Allen; Haraldsdottir; Lawler; Pirottee ir Schwab, 1997) ir procedūrinių sprendimų, turi užtikrinti efektyvų pagrindinių aviacijos sistemos išteklių, t. y. oro erdvės panaudojimą, ir sudaryti sąlygas geriausiai įgyvendinti oro erdvės naudotojų poreikius.

Pažymėtina, kad šiandieninė OEV sistema yra labai centralizuota, daranti poveikį oro erdvės naudotojui visų skrydžio fazių metu, pradedant orlaivio pajudėjimu išskridimo oro uoste ir baigiant jo sustojimu paskirties oro uoste (Poppe ir Bolz, 1998).

Pagal OEV sistemai keliamus tikslus ir jos atliekamas funkcijas šios sistemos veiklos koncepciją sudaro septyni sudėtiniai elementai (1.2 pav.).



1.2 pav. Oro eismo vadybos sistemos elementai
Fig. 1.2. Elements of Air Traffic Management system

OEV paslaugų sistemos pagrindas yra jos apimamos paslaugos ir šių paslaugų integralumas. OEV sistemos sudėtiniai elementai (1.2 pav.):

- oro erdvės organizavimo ir vadybos funkcija, sudaranti sąlygas visų kitų OEV sistemos funkcijų, taip pat ir visos OEV sistemos, efektyviai veiklai užtikrinti (Eurocontrol, 2008);
- nustatyto oro erdvės pralaidumo ir planuojamo srauto pusiausvyros užtikrinimo funkcija, kuri strateginiu lygiu nuolat vertina atskirų oro erdvės elementų, oro uostų ir visos OEV sistemos pralaidumą ir, jei reikia, laiku nustato atitinkamus skrydžių srautų apribojimus (Rebollo ir Cruz, 2009). Pabrėžtina, kad skrydžių srautų vadyba užtikrina, jog skrydžių skaičius kiekviename oro erdvės elemente neviršytų leistino skaičiaus, lemiančio leistiną skrydžių vadovo darbo krūvį tame oro erdvės elemente ir tuo būdu užtikrina reikalingą skrydžių saugos ir oro eismo paslaugų kokybės lygį (Devasia; Heymann ir Meyer, 2002). Įvertinant oro erdvės elemento pralaidumą, tikslinga įvertinti jo erdvinę geometriją ir

laikinus veiksmus, priklausančius nuo tame oro erdvės elemente skrendančių orlaivių techninių charakteristikų (*Eurocontrol*, 1991). Be to, pažymėtina, kad oro erdvės elemento pralaidumas priklauso ne tik nuo orlaivių skirsniovimo intervalų ir skrydžių valdymo sektoriaus geografinės konfigūracijos bei orlaivių techninių charakteristikų, bet ir nuo skrydžių vadovo darbo krūvio dydžio (Little, 2000).

- skrydžių srautų sinchronizavimo vykdymo funkcija, kuri taktiniu lygiu užtikrina saugaus, organizuoto ir efektyvaus skrydžių srauto suformavimą (suteikiant nesusiduriančias ir efektyvias skrydžių trajektorijas bei užtikrinant reikiamą orlaivių skirsniovimą) (Dravecka, 2005; Gwiggner; Fujita; Fukuda; Nagaoka ir Nikoleris, 2011).
- galimų konfliktinių situacijų prevencijos funkcija, kuri skirta iki priimtino lygio sumažinti riziką, susijusią su orlaivio galimybe susidurti su kliūtimis (kitais orlaiviais, žemės paviršiumi ir antžeminėmis kliūtimis, dėl nepalankių meteorologinių sąlygų, valkties turbulencijos bei kitų neautorizuotų veiklų ore).

Galimų konfliktinių situacijų prevencija įgyvendinama trimis lygiais:

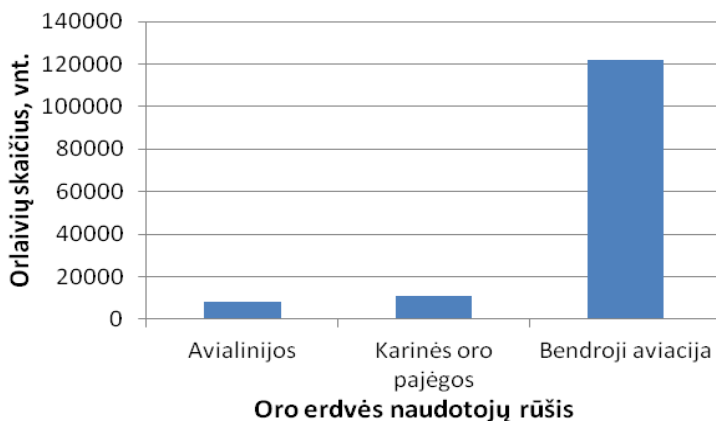
- strateginiu – per oro erdvės organizavimą ir vadybą, nustatyto oro erdvės pralaidumo ir planuojamo srauto pusiausvyros užtikrinimą ir skrydžių srautų sinchronizavimą, numatant galimas konfliktines situacijas ir pritaikant atitinkamas priemones, leidžiančias to išvengti. Tai sumažina orlaivių išskyrimo poreikį iki priimtino lygio;
- užtikrinant orlaivių išskyrimą;
- ir
- užtikrinant susidūrimų išvengimą.
- oro erdvės naudotojų veiklos užtikrinimo funkcija, sudaranti sąlygas įvairių rūšių oro erdvės naudotojų (oro linijoms, bendrajai aviacijai, karinėms oro pajėgoms) vykdomoms operacijoms.
- oro uostų veiklos užtikrinimo funkcija, garantuojanti poreikį atitinkantį oro uostų pralaidumą.
- OEV paslaugų teikimo valdymo funkcija, skirta užtikrinti nepertraukiamą OEV paslaugų teikimą visų skrydžio fazių metu nuo išskridimo iki paskirties aerodromo, ir nesvarbu, kurios valstybės oro navigacijos paslaugų teikėjas šias paslaugas teiktų.
- informacinio užtikrinimo funkcija, įgalinanti visų OEV paslaugų teikimą ir sudaranti sąlygas ją sudarančių elementų reikiamai tarpusavio sąveikai užtikrinti. Šios funkcijos pagrindu visi OEV sistemos elementai yra integruoti tarpusavyje ir vieningai veikia bei sąveikauja su kitoms oro navigacijos paslaugomis. Atlikus pakeitimus ar patobulinus kurio nors OEV sistemos elemento veiklą, turi būti tikslinamas ir informacijos užtikrinimo procesas (Bradford; Rodgers ir Colligan, 1997).

OEV sistema atlieka svarbų vaidmenį aviacijos sistemoje ir nemažai prisideda prie skrydžių efektyvumo užtikrinimo bei valstybių bendro vidaus produkto didinimo (Leal ir Odoni, 2005), todėl plečiantis oro erdvės naudotojų ratui, kintant avionikos galimybėms ir jų poreikiams, OEV sistema turi būti pritaikoma prie besikeičiančių aplinkybių ir atitikti oro navigacijos paslaugų gavėjų poreikius bei lūkesčius (Guichard ir Guibert, 2005).

1.2. Oro erdvės naudotojai, jų poreikių analizė

Atsižvelgiant į tai, jog dėl naudojamų orlaivių ir skirtingų vykdomų operacijų tikslų, skirtingo norimo naudotis oro erdvės dydžio bei laikotarpio, kuriam reikalinga ši oro erdvė ir skirtingo išankstinio skrydžių planavimo periodo ir kita, OEV sistema, nepriklausomai nuo orlaivių techninių charakteristikų, turimos jų įrangos ir paskirties bei nepaisant to, ar šie orlaiviai yra pilotuojami, ar bepiločiai (Lee; Brasil; Homola; Kessell; Lee; Mainini ir Prevot, 2011), turi sudaryti sąlygas oro erdve naudotis visų tipų orlaiviams.

Svarbu pažymėti, kad vienas pagrindinių ribojančių veiksnių, apibrėžiančių oro erdvės pralaidumą, apie kurį turi būti organizuojama visa OEV sistemos veikla yra skrydžių vadovo darbo krūvis, t. y. skrydžių vadovo protinio ir fizinio darbo kiekis, reikalingas valdyti atitinkamame oro erdvės elemente skrendančius orlaivius (Majumdar ir Polak, 2001).



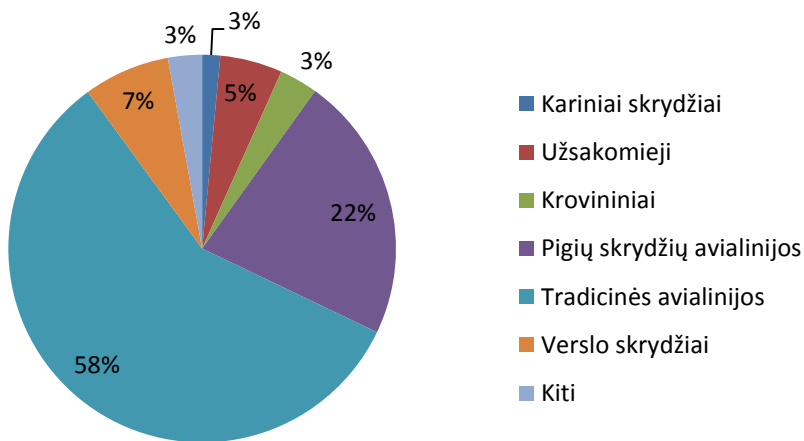
1.3 pav. Oro erdvės naudotojų turimi orlaiviai Europos regione

Fig. 1.3. Aircraft by airspace user type

Oro erdvės pralaidumas gali keistis keičiantis oro eismo sudėtingumui, oro sąlygoms ar techniniam aprūpinimui. Todėl didinant oro erdvės pralaidumą svarbu įvertinti skrydžių vadovo darbui turinčius įtakos veiksnius, jų kaitą paros metu ir priklausomybę nuo metų laiko (Majumdar; Ochieng; McAuley; Lenzi ir Lepadatu, 2004). Remiantis statistikos duomenimis, kad kiekviena oro erdvės naudotojų rūšis turi pakankamai didelį orlaivių skaičių (1.3. pav.) ir jų vykdomos veiklos mastai yra milžiniški.

Nepaisant to, kad pagal statistiką Europos regione daugiausia orlaivių turi bendroji aviacija (apie 52 000 vnt. – turinčių variklius, ir apie 70 000 vnt. – sklandytuvų, skraidyklių ir parasparnių, vis dėlto oro linijas, besinaudojančias 4650 orlaivių bei 3500 verslo orlaivių, atliekančių apie 9,4 mln. skrydžių ir sukuria 3,2 mln. netiesioginių darbo vietų ir karinės oro pajėgas, turinčias 10 698 vnt. naikintuvų, sraigtasparnių ir transportinių orlaivių, kuriems atitinkamoms gynybinėms operacijoms ir treniruotėms reikia daug ir didelių oro erdvės zonų, reikėtų laikyti pagrindinėmis oro erdvės naudotojų rūšimis, o jų svarba laisvam keleivių bei krovinių judėjimui užtikrinti, kad būtų vystomas verslas bei užtikrinamas valstybių saugumas, yra didžiulė.

Bendroji aviacija kelia vis daugiau reikalavimų papildomai oro erdvei, o bepiločiai orlaiviai, kurie nėra atvaizduoti 1.3 paveiksle, ir iki šiol daugiausia apsiribojo skrydžiais specialiai tam skirtose zonose, kelia reikalavimus pradėti vykdyti veiklą ir valdomojoje oro erdvėje (Kuchar, 2005).



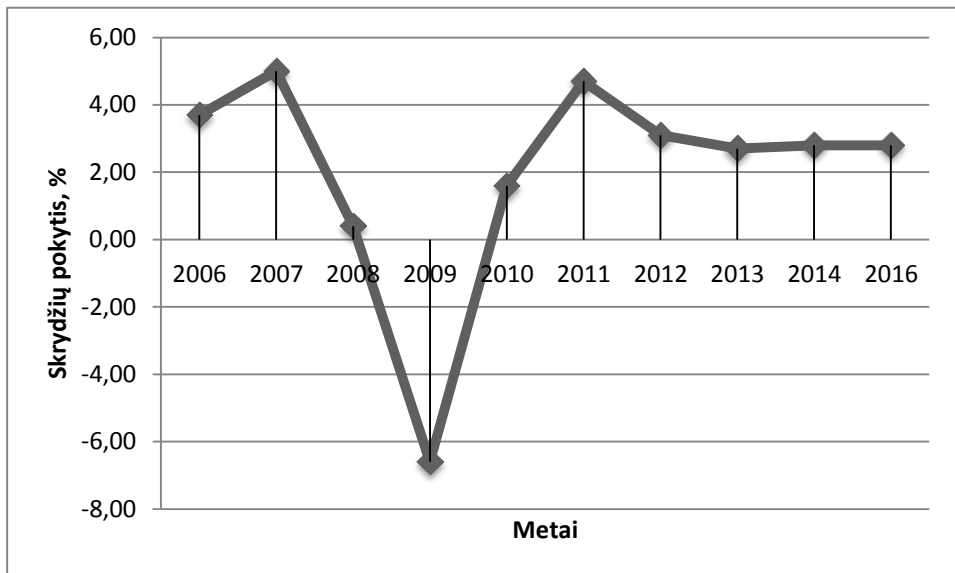
1.4 pav. Instrumentiniai skrydžiai Europos regione 2011 m. pagal naudotojų rūšį
Fig. 1.4. Instrument flights in European region in 2011 according to class of users

Atsižvelgiant į oro linijų skrydžių dalį (1.4 pav.), jų veiklos įtaką valstybių ekonomikai ir laisvo judėjimo užtikrinimui bei į tai, kad oro erdvės naudotojams jų veiklos efektyvumas, po saugos užtikrinimo, yra pats svarbiausias vykdomos veiklos elementas, valdomosios oro erdvės elementai turėtų būti sudaromi taip, kad būtų eliminuoti galimi suvaržymai ir užtikrintos sąlygos kuo efektyvesnėms oro linijų skrydžių operacijoms vykdyti (Voss ir Hoffman, 2000).

1.3. Oro eismo vadybos sistemų efektyvumo analizė

Paskutiniu metu pastebima, kad visos transporto sistemos Europoje tapo ypač orientuotos į komercinius veiklos rezultatus. Ne išimtis aviacija ir, aišku, OEV sistema, kurios geresni veiklos rezultatai mažina oro erdvės naudotojų išlaidas ir daro šią transporto šaką patrauklesnę (Pomeret ir Mahlich, 1997). Be to, aviacija ženkliai prisideda vystant Europos regiono ekonomiką. Ši transporto šaka kasmet uždirba daugiau kaip 134 mlrd. EUR (Legeza, Selymes ir Torok, 2010).

Skrydžių srantai iš esmės yra labai kompleksiški ir lengvai paveikiami, todėl bet kokia krizinė situacija pasaulyje, bet kokia planuota ar atsitiktinė įtaka vienam iš pagrindinių skrydžių srautų paveiktų visą OEV sistemą, o šio poveikio pasekmės ir jų apimtis oro erdvės naudotojams ir visai aviacijos sistemai yra sunkiai nuspėjamos ir prognozuojamos.

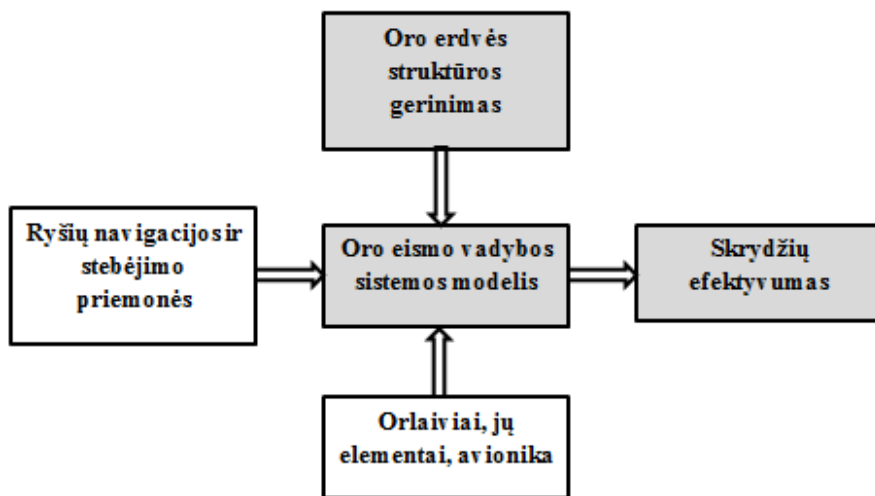


1.5 pav. Skrydžių pagal prietaisus (SPP) skaičiaus dinamika Europos regione
Fig. 1.5. Dynamics of the number of instrument flights in European Region

Pastarojo dešimtmečio SPP srautų dinamika rodo, kad vykdomų skrydžių skaičius nuolat auga, išskyrus nuosmukį per ekonominio sunkmečio Europos regione laikotarpį 2009 m., ir prognozės yra teigiamos (1.5 pav.) (*Eurocontrol 2012*). Jei neįvyks jokių didelių sukrėtimų, galinčių turėti ženklios įtakos keleivių pasirinkimui keliauti orlaiviais, pagal skrydžių prognozę bendras skrydžių skaičius Europos regione iki 2030 metų išaugs du kartus, lyginant su 2009 metais įvykusių skrydžių skaičiumi.

Atsižvelgiant į tai, kad jau šiandien dalyje oro erdvės yra jaučiama oro erdvės pralaidumo stoka (Mandal ir Overend, 1996), intensyvėjant skrydžių srautams tai gali tapti pagrindine didėjančių skrydžių užlaikymo priežastimi, mažinančia skrydžių operacijų efektyvumą (Wieland, 1997). Siekiant užtikrinti oro erdvės naudotojų lūkesčius atitinkančių oro navigacijos paslaugų teikimą augančiam orlaivių skaičiui, nesudarant papildomų suvaržymų skrydžių srautams, turi būti atlikti ženklaus OEV sistemos pakeitimai, sudarantys sąlygas šiuos skrydžius akumuliuoti (Andrews ir Welch, 1997).

Pasitelkus atitinkamus veiklos vertinimo rodiklius OEV sistemos efektyvumas gali būti išmatuojamas ir stebima jo dinamika. Šie rodikliai turi aprėpti ir įvertinti su nagrinėjama OEV sritimi susijusius klausimus bei atspindėti oro erdvės naudotojų lūkesčius.



1.6 pav. Oro erdvės struktūros įtaka skrydžių efektyvumui

Fig. 1.6. Airspace structure influence to flight efficiency

Galima teigti, kad visos oro navigacijos paslaugos, išskyrus paieškos ir gelbėjimo paslaugas, tiesiogiai įgalina efektyvesnius skrydžius, bet tik tokia apimtimi, kokia tai leidžia atlikti taikomas OEV modelis ir oro erdvės struktūra.

Skrydžių efektyvumas yra bendrinis terminas, galintis referuoti įvairias koncepcijas ir apibrėžimus. Kiekviena suinteresuota pusė aviacijos sistemoje, aišku, turi savo skrydžių efektyvumo supratimą, bet objektyviai vertinant skrydžių efektyvumą visos sistemos požiūriu įvertina tik OEV sistema (1.6 pav.).

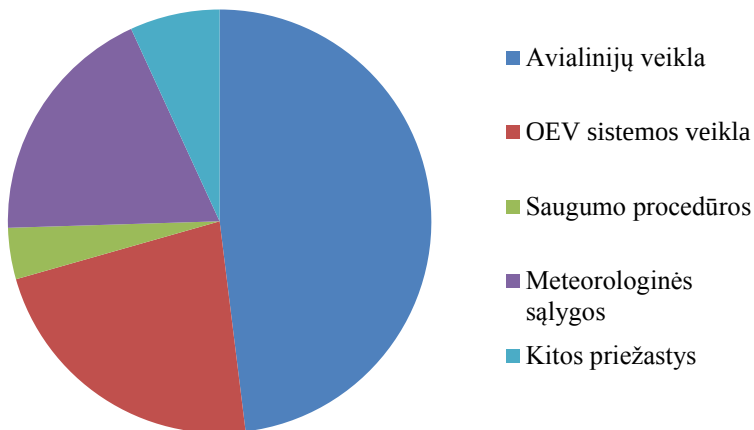
Skrydžių efektyvumą gali padidinti įvairios priemonės: geresni orlaiviai (pvz., labiau sumažina oro pasipriešinimą), geresni varikliai (pvz., turintys geresnę trauką), geresnės kokybės (ar alternatyvūs ateityje) degalai ir geresnis OEV sistemos modelis bei jo panaudojimas (trumpesni skrydžio maršrutai, lankstus oro erdvės panaudojimas ir pan.). Įvertinus tai, kad dėl didelių išlaidų, susijusių ne tik su techninio sprendimo išbaigtumu, bet ir jo įdiegimu į visus orlaivius, orlaivių, variklių, degalų pagerinimas ir pokyčiai avionikoje yra ilgalaikiai procesai (Gaier ir Kostiuk, 1998), kurių rezultatais bus galima pasinaudoti ateityje, siekiant greitų rezultatų, turėtų būti orientuojamasi į priemonių, susijusių su OEV sistemos gerinimu, diegimą (Castelli; Omero Pesenti ir Ukovich, 2005).

Gali atrodyti, kad naujų technologinių sprendimų pritaikymas transporte yra paprastas dalykas, tačiau praktika rodo, kad net pačios pažangiausios priemonės ar technologijos gali būti naudojamos neefektyviai (Baublys, 2003; Baublys ir Išoraite, 2006).

Nepaisant to, kad OEV sistema neturi tiesioginės įtakos oro erdvės naudotojų pajamoms, OEV sistemos efektyvumas apibrėžiamas su jos veikla susijusiomis eksploatacinėmis sąnaudomis (Sinnott ir MacReynolds, 1998). Oro erdvės naudotojų bendrąsias eksploatacines sąnaudas geriausiai apibrėžia sunaudotų degalų ir laiko funkcija, kur sunaudoti degalai savaime yra skrydžio metu pučiančio vėjo, orlaivio greičio, skrydžio aukščio, orlaivio svorio ir vertikalaus bei horizontalaus skrydžio profilio funkcija. Iš kitos pusės, laikas yra skrydžio atstumo ir greičio, oro eismo srautų vadybos (ATFM) ribojimų ir eksploatacinių sąnaudų dydžio, kintančių priklausomai nuo skrydžio laiko, funkcija.

Nustatant oro erdvę regiono mastu reikėtų vertinti veiksnus, turinčius įtakos skrydžio atstumui, skrydžio laikui ir sunaudotiems degalams (Howell; Bennett; Bonn ir Knorr, 2003; Ryerson; Hansen ir Bonn, 2011). Šiuos veiksnus dažniausiai išreiškia:

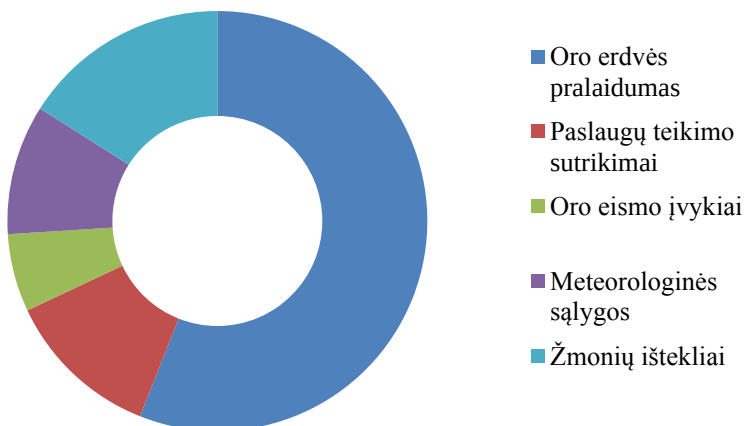
- orlaivių užlaikymas;
- horizontalaus skrydžio profilio efektyvumas;
- vertikalaus skrydžio profilio efektyvumas;
- OEV sistemos pralaidumas.



1.7 pav. Oro erdvės naudotojų užlaikymų priežastys

Fig. 1.7. Reasons of delays of Airspace users

Oro erdvės naudotojų užlaikymo priežastys yra įvairios ir dėl OEV sistemos atsirandantis užlaikymas sudaro daugiau kaip 20 % visų užlaikymų (1.7 pav.). Užlaikymas gali atsirasti dėl atskirų OEV sistemos elementų veiklos sutrikimų ar nepakankamo pralaidumo (1.8 pav.).



1.8 pav. Oro eismo vadybos sistemos generuojamų skrydžių užlaikymų pasiskirstymas

Fig. 1.8. Distribution of Air Traffic Management generated delays

Pažymėtina, kad skrydžių užlaikymas laikytinas vienu iš pačių didžiausių OEV veiklos neefektyvumo rodiklių bei tiesiogiai neigiamai veikia oro erdvės naudotojų operacijų efektyvumą (Voss ir Hoffman, 1997; Lenoir ir Hustace, 1997). Išnagrinėjus pagrindines orlaivių užlaikymo priežastis, atsirandančias dėl OEV sistemos veiklos (1.7 pav.), matyti, kad oro erdvės pralaidumas, kuris didžiaja dalimi priklauso nuo oro erdvės organizavimo ir planavimo, sudaro net 57 % visų užlaikymo atvejų ir yra išreiškiamas orlaivių, galinčių patekti į oro erdvės elementą per valandą, skaičiumi (Delahaye ir Puechmorel, 2000). Nustatant oro erdvės struktūrą svarbu, kad ji sudarytų sąlygas aptarnauti skrydžių srautą negeneruojant užlaikymo arba jį išlaikant oro erdvės naudotojus tenkinančiame lygyje. Svarbu turėti omenyje, kad dažnas ilgesnės trukmės užlaikymas turi grandininę reakciją oro linijų tvarkaraščiuose ir generuoja susijusių skrydžių užlaikymą (Beatty, 1998; Bloem ir Huang, 2011).

Be skrydžių užlaikymo, kitas pagrindinis OEV sistemos veiklos efektyvumo rodiklis yra skrydžio horizontalios trajektorijos nuokrypis nuo jo optimalios trajektorijos (Magill, 1998) darant prielaidą, kad nebuvo jokių ribojimų, susijusių su meteorologinėmis sąlygomis ar OEV sistemos apribojimais. Optimalia horizontalia skrydžio trajektorija laikytinas didžiojo apskritimo arba ortodrominis atstumas, kuris yra trumpiausias atstumas tarp bet kurių dviejų taškų sferos paviršiuje. Pažymėtina, kad horizontalios skrydžio trajektorijos nukrypimas nuo optimalios yra lemiamas oro erdvės organizavimu regiono mastu ir veikia tiek skrydžių efektyvumą, tiek ir kuro kiekio sunaudojimą ir taršos lygį (Liang ir Chin, 1998; Weidner ir Green, 2000).

Vertikalios skrydžių trajektorijos taip pat sąlygoja skrydžių efektyvumą. Skrydis optimaliame aukštyje, jei kitos sąlygos yra nekintančios, užtikrina mažiausią oro pasipriešinimą ir mažiausią degalų sunaudojimą bei mažiausią taršos lygį. Įvertinus tai, kad skrydžio metu orlaiviai paprastai skrenda savo kreiseriniame aukštyje, kuris jiems yra optimalus, vertikalų trajektorijų įtaka labiausiai pasireiškia vietiniu lygiu – oro uostų prieigose, kur orlaiviai aukštėja ir žemėja. Vertikalų skrydžių trajektorijų efektyvumui didelę įtaką turi oro erdvės organizavimas ir atskirų oro erdvės elementų (pvz., karinių zonų, oro uostų) išsidėstymas.

Įvertinus horizontalų ir vertikalų skrydžio trajektorijų svarbą skrydžių operacijų efektyvumui, jų gerinimas turi būti viena iš pagrindinių priemonių gerinant OEV efektyvumą (Soler; Olivares; Staffetti ir Bonami, 2011).

Atsižvelgus į tai, kad jau šiandien OEV sistemos veikla nėra optimali pagal šiuos rodiklius, ir į tai, jog prognozuojamas ženklus skrydžių skaičiaus padidėjimas, aišku, kad siekiant bent išlaikyti esamų oro navigacijos paslaugų kokybę turi būti optimizuojama OEV sistemos veikla, ypač optimizuojant oro erdvės organizavimą ir didinant oro erdvės pralaidumą (Kostiuk, 2001), kuris sąlygoja visų OEV sistemos elementų veiklą bei yra pagrindas kitoms priemonėms taiky-

ti. Taigi, tinkamas oro erdvės organizavimas yra vienas pagrindinių veiksnių, užtikrinančių reikiamą oro erdvės pralaidumą ir efektyvų panaudojimą (Basu; Mitchell ir Sabhnani, 2008).

1.4. Oro erdvės organizavimo regiono mastu analizė

Oro erdvė – tai terpė, kurioje vystoma aviacijos sistemos veikla, todėl jos organizavimas, nevertinant kuro sąnaudų augimo bei politinių, socialinių ir ekonominių procesų įtakos dažniausiai ir lemia OEV sistemos ir vykdomų skrydžių efektyvumą bei technologinių, techninių ir procedūrinių sprendimų įdiegimo bei efektyvaus jų panaudojimo galimybę. Nuo to, kaip oro erdvė yra organizuota, kokiais principais ir kokie oro erdvės elementai sudaromi bei, vėliau, kaip efektyviai jie panaudojami, priklauso oro erdvės, kaip pagrindinio aviacijos sistemos išteklius, panaudojimas ir sąlygų skrydžių efektyvumui užtikrinti ar gerinti sudarymas (ICAO, 2005). Aišku, kad OEV sistemoje atlikti tam tikrus pokyčius svarbu įvertinti ir tokių pokyčių įtaką skrydžių saugai (Kondroška ir Stankūnas, 2012c).

Oro erdvės struktūros nustatymas (oro erdvės organizavimas) OEV sistemoje priklauso nuo skrydžių intensyvumo ir skrydžių srautų (Ehrmanntraut ir McMillan, 2007) bei sudaro pirmąjį galimų konfliktinių situacijų prevencijos užtikrinimo barjerą ir pagrindą efektyvių skrydžių srautams vykdyti.

Atsižvelgiant į tai, kad aviacija yra pasaulinė transporto šaka ir kiekvienos šalies OEV sistema yra sudėtinis regiono ir pasaulio OEV sistemos elementas, bendri tarptautiniai OEV sistemos reikalavimai leidžia visiems pasaulio regionams vystyti kryptingai. Nors nacionalinės OEV sistemos yra organizuotos remiantis vienodais principais ir atitinka bendrinius reikalavimus, tačiau sunkiai gali prisitaikyti prie nuolat augančių oro erdvės naudotojų – pagrindinių OEV sistemos naudotojų – lūkesčių dėl globalaus sistemos harmonizavimo, sąveikos ir efektyvumo užtikrinimo.

Skirtingų regionų – Jungtinių Amerikos valstijų (JAV) ir Europos regiono Europos civilinės aviacijos konferencijos šalių (ECAC) – OEV sistemų palyginimas rodo, kad pagal plotą labai panašiose teritorijose funkcionuojančių OEV sistemų efektyvumas labai skiriasi (Fron, 1998).

Jeigu JAV oro erdvės organizavimas pirmiausia paremtas oro navigacijos paslaugų teikimo ir skrydžių efektyvumo užtikrinimu visos šalies arba regiono mastu, tai Europos regione oro erdvė yra organizuota pagal ją sudarančių valstybių sienas, ir yra pagrindinė egzistuojančios fragmentacijos priežastis, lemianti kelis kartus mažesnius OEV sistemos efektyvumo rodiklius – aptarnaujamą orlaivių skaičių ir teikiamų oro navigacijos paslaugų sąnaudas.

Pabrėžtina, kad oro erdvės fragmentaciją galima būtų išskirti kaip pagrindinį ribojantį veiksnių skrydžių efektyvumo didinimo sąlygoms sudaryti. Šio ribojančio veiksnio eliminavimas organizuojant oro erdvę svarbus ne tik regionams, sudarytiems iš daugelio, palyginti nedidelių, valstybių, bet ir didelėms pagal plotą valstybėms, kurių oro erdvės struktūra negali sudaryti sąlygų efektyvesniems skrydžiams užtikrinti. Aišku, atskiros atitinkamos priemonės gali turėti teigiamos įtakos OEV sistemos, kartu ir skrydžių efektyvumo didėjimui, tačiau tai būtų nežymus arba vietinis pagerinimas, nesudarantis sąlygų OEV sistemą pagerinti iš esmės. Visam kompleksui galimų priemonių skrydžių efektyvumui (siekiant gerinti pralaidumą ir saugą bei mažinti išlaidas) (McCulloch, 1998) didinti tiek regiono, tiek ir vietiniu mastu gali sudaryti sąlygas tik esamos fragmentacijos panaikinimas.

Siekiant spręsti šią problemą pasaulyje vykdomas ne vienas oro erdvės stambinimo projektas. Vienas tokių projektų šiuo metu yra vykdomas Europos regione, įgyvendinant bendro Europos dangaus koncepciją, kurios tikslas yra Europos oro erdvėje sudaryti keletą funkcinių oro erdvės blokų (FAB), turinčių padėti įgyvendinti skrydžių efektyvumo didinimo priemones. Oro erdvės fragmentacijos mažinimo, tik šiuo atveju valstybės viduje, pavyzdžiu taip pat gali būti Rusijos Federacijoje vykdomas oro erdvės stambinimo projektas, kurio tikslas – vietoj prieš tai buvusių daugiau kaip 100 oro erdvės darinių bus sudaryta 13 sustambintų regioninių oro erdvės blokų (OEB). Šie pavyzdžiai demonstruoja, kad siekiant bent jau išlaikyti OEV sistemos ir skrydžių efektyvumo rezultatus, didėjant skrydžių srautams ir kintant technologijoms, turi keistis ir pati OEV sistema bei oro erdvės elementai (Kondroška ir Stankūnas, 2012d).

Neigiama oro erdvės fragmentacijos įtaka rodo, kad neužtenka oro erdvę organizuoti nedidelės teritorijos ar vienos šalies mastu. Jei projektai būtų regioniniai, reiktų spręsti klausimus, susijusius ne tik su techniniu ir procedūriniu oro navigacinių paslaugų teikimo organizavimu, saugos lygio išlaikymu bei su šioje sferoje dirbančių specialistų potencialiais socialinių sąlygų pokyčiais, bet ir būtina spręsti karinius, šalių saugumo, teisinius, mokestinius ir kitus klausimus; tokius projektus, be abejo, lengviau yra vykdyti, jei šie apima tik vienos šalies oro erdvę.

Aviacija yra dinamiška ir labai greitai kintanti sritis, todėl turėtų būti sukurtos moksliskai pagrįstos metodikos, įgalinančios efektyviai koordinuoti tiek strateginius tikslus, tiek ir techninius bei technologinius įgyvendinimo principus (Baublys ir Smičius, 2002). Tačiau vieningų reikalavimų oro erdvės struktūroms stambinti regiono mastu ar metodikos, kaip tą atlikti, nėra.

Optimalus oro erdvės organizavimas regiono mastu, leistų optimizuoti skrydžių vykdymą, geriau patenkinti visų oro erdvės naudotojų poreikius, padėtų išvengti nereikalingo energetinių išteklių naudojimo bei prisidėtų mažinant atmosferos taršą (Stankūnas ir Kondroška, 2009). Oro erdvės struktūros nustaty-

mas regiono mastu yra glaudžiai susijęs su vietiniu oro erdvės organizavimu. Skirtumas yra tas, kad pirmuoju atveju oro erdvės organizavimas yra orientuotas į pagrindinius oro eismo vadybos tikslus ir efektyvumo rodiklius viso analizuojamo regiono mastu, o antruoju atveju – į regiono skrydžių valdymo centro (SVC) bei skrydžių valdymo (SV) sektoriaus veiklos efektyvumo rodiklius. Dėl skirtingo apimamos oro erdvės dydžio regiono oro erdvės struktūros efektyvumo vertinimo kriterijai ir SVC bei SV sektoriaus efektyvumo vertinimo kriterijai skiriasi.

Regiono oro erdvės struktūra turi sudaryti sąlygas skrydžių srautų tinklo ir regiono veiklos efektyvumo kriterijams pasiekti, t. y. atitikti oro erdvės naudotojų lūkesčius ir užtikrinti efektyvius skrydžius. Nustačius oro erdvės struktūrą regiono mastu, vėliau ši struktūra galėtų būti skaidoma į regiono SVC ir SV sektorių oro erdvę, kuri jau atitiktų šių darinių efektyvumo kriterijus.

Oro erdvės struktūros sudarymo principai yra vienodi tiek labai kompleksinei oro erdvei, kurioje vyksta pagrindiniai skrydžių srautai regione, tiek oro erdvei, kurioje vykdomi skrydžių srautai yra neintensyvūs. Gali skirtis tik reikalingų oro navigacijos paslaugų spektras.

1.5. Pagrindinių oro erdvės organizavimo tyrimo metodų apžvalga

Šiuo metu efektyviausia yra JAV OEV sistema, tačiau, žiūrėdami į ateitį, tiek mokslininkai Europoje, tiek ir JAV stengiasi nagrinėti ir ieškoti optimalių oro erdvės organizavimo būdų. Pasaulyje yra atlikta daugybė tyrimų, nagrinėjančių efektyvaus oro erdvės sudalinimo problemas.

Kadangi oro erdvės struktūra tiesiogiai veikia oro eismo paslaugų teikimą kaip vienas pagrindinių veiksnių, kuriuo remiantis turima ar tyrimų metu nustatyta oro erdvė dalinama į smulkesnius oro erdvės elementus oro kelių ir antžeminių navigacijos priemonių tinklų pagrindu, pagal darbo krūvį, tenkantį skrydžių vadovui, teikiančiam oro eismo paslaugas formuojamuose oro erdvės dariniuose, bei taikant kitas priemones, leidžiančias įvertinti oro erdvę.

Įvertinant sudaromų oro erdvės elementų pralaidumą, paprastai yra naudojamos įvairios kompiuterinės simuliacijos, kurių pagalba įvertinami ne tik potencialūs skrydžiai, bet ir panaudojami skrydžių vadovų darbo krūvį nustatantys moduliai (Majumdar; Ochieng; Bentham ir Richards, 2005). Atliekamos analizės remiasi skirtingais metodais ir kiekviena turi savų pranašumų bei trūkumų. Pastebėtina, kad įvertinus skirtingą oro erdvės mastą ir taikytinus skirtingus veiksnius, oro erdvės struktūrai regiono mastu ir grupės skrydžių valdymo sektoriams nustatyti taikytini skirtingi kriterijai.

Visos oro erdvės struktūros analizės remiasi dideliu kiekiu statistinių ar jų pagrindu sudarytų prognostinių tyrimo tikslams pritaikytų skrydžių duomenų. Tam, kad būtų galima įvertinti tokį kiekį duomenų ir pagreitinoti jų apdorojimo procesą, dažniausiai yra būtina tą kiekį duomenų sumažinti vidurkinant tam tikru būdu. Vienas iš plačiausiai naudojamų būdų yra tiriamos oro erdvės diskretizavimas į mažesnes dalis, kurių pagrindu yra atliekami atitinkami tyrimai.

Nemaža dalis tyrėjų oro erdvės tyrimuose atskaitos tašku renkasi egzistuojančių oro kelių tinklą (Delahaye; Schoenauer; Alliot, 1998; Trandac; Baptiste ir Duong, 2003), kuris pats savaime formuoja atitinkamą grafą ir todėl įgalina taikyti grafo teorijos metodus.

Pasirinkus šį metodą, oro erdvė yra aprašoma remiantis oro kelių tinklą sudarančiomis atkarpomis, kurioms, priklausomai nuo taikomo oro erdvės diskretizavimo metodo, priskiriama tam tikra oro erdvės dalis (Huy; Baptiste ir Duong, 2003). Taikant šį tyrimo metodą, daroma prielaida, kad visi skrydžiai tiriamoje oro erdvėje yra vykdomi tik oro kelių tinklu. Atsižvelgiant į tai, kad dauguma skrydžių vykdoma oro keliais, egzistuoja glaudus ryšys tarp oro kelių tinklo ir skrydžių sudėtingumo tam tikroje oro erdvės dalyje. Todėl tyrimuose atskaitos tašku renkantis oro kelių tinklą dažnai oro erdvės organizavimas siejamas su skrydžių vadovo darbo krūviu ir jį sąlygojančiais veiksniais bei siekiu minimizuoti ar harmonizuoti skrydžius per skrydžių valdymo sektorių ribas. Tai pasiekama pritaikant algoritmus su tam tikrais apribojimais, leidžiančiais nustatyti optimalius oro kelius skrydžių valdymo sektoriams. Įvertinus tai, kad tobulėjant technologijoms skrydžiai, kurių tam tikra dalis, horizontalių skrydžio trajektorijų optimizavimo tikslais, vykdoma ne oro keliais skaičius vis auga, organizuojant oro erdvę oro kelių tinklo pagrindu tikslinga tik nedidelėje teritorijoje ir tik tuo atveju, jei šis tinklas yra pakankamai išvystytas. Tačiau ir tada tyrimo rezultatai neapėrią skrydžių efektyvumo didesnėje oro erdvėje.

Aišku, galima vertinti realiai vykdomų skrydžių trajektorijų ir oro kelių susikirtimus (Mitre, 2004), leidžiančius geriau įvertinti skrydžių pasiskirstymą ir skrydžių vadovo darbo krūvį kiekviename skrydžių valdymo sektoriuje. Galima būtų teigti, kad jis taikytinas ir oro erdvės tyrimui regiono mastu (Conker; Mooney; Niedrinhaus ir Simmons, 2007), tačiau prisirišimas prie oro kelių tinklo, ypač labai fragmentuotuose regionuose, tikėtina, gali smarkiai iškreipti tyrimo rezultatus.

Taikant šį metodą, apie oro kelių tinklo viršūnes arba oro kelių tinklo segmentus yra sudaromi svoriniai poligonai (Min, 2008) arba svorinis grafas, kurie vėliau priskiriami oro erdvei, prieš tai iš anksto ją sudalinus.

Idomus metodas svoriniam grafui oro erdvei priskirti yra taisyklingos gardelės taikymas (Martinez; Chatterjin; Dengfeng ir Bayen, 2007). Tokiu būdu skrydžių srautų grafas yra dalinamas į pografius, kol pasiekiamas reikiamas dalinimo kriterijus. Pografių svarba apskaičiuojama sumuojant orlaivių skaičių, esančių

kiekvienoje iš šiam pografiui priskirtų oro erdvės gardelės ląstelių, susietų su šiuo pografu kiekvienu laiko momentu. Procesas baigiamas panaudojus gardelės ląstelių užimtumo ir priskyrimo matricas.

Visų minėtų tyrimų metodų pagrindas yra oro kelių tinklas, taigi tyrimo tikslumas yra priklausomas nuo oro kelių tinklo išvystymo tiriamoje oro erdvėje. Naujos navigacijos ir stebėjimo technologijos užtikrina didelį tikslumą ir vis plačiau yra įgyvendinama laisvų skrydžių koncepcija, sudaranti sąlygas orlaiviui tokioje erdvėje skristi tiesiai nuo įskridimo taško į išskridimo tašką, todėl labai tikėtina, kad oro erdvės struktūros, nustatytos oro kelių tinklo pagrindu, efektyvumo rodikliai mažės.

Be oro kelių tinklo pasirinkimo atskaitos tašku oro erdvės struktūros tyrimuose taikomi ir kiti oro erdvės diskretizavimo metodai. Atsižvelgiant į tai, kad prieš tai minėtų oro erdvės diskretizavimo metodų taikymo tyrimui regiono mastu pagrindinė silpnoji vieta yra prisirišimas prie oro kelių tinklo ar jo elementų, reikalinga taikyti nepriklausomus oro erdvės diskretizavimo metodus.

Taikant kito tipo diskretizavimo metodus, JAV oro erdvėje esančių oro kelių ir jų kompleksiško analizei atlikti gali būti naudojama gardelė, sudaryta iš šešiakampių ląstelių (Donohue; Yousefi ir Qureshi. 2003). Šios analizės metu mozaikos šešiakampės sudedamosios dalys buvo vertinamos kaip skrydžių valdymo sektoriai, ir skrydžių vadovo darbo krūviui nustatyti kiekvienoje iš jų buvo taikomi įprasti darbo krūvio nustatymo metodai.

Gana gerus rezultatus taip pat parodė oro erdvės analizės ir oro erdvės pakirstymo metodas, remiantis suvienodintu skrydžių kiekiu (Klein, 2005) ir oro erdvės diskretizavimu naudojant šešiakampio ir keturkampio formos gardelės ląsteles. Taikant šį metodą, tiriamai oro erdvei sudalinti naudojama gardelė, sudaryta iš didelės raiškos šešiakampio formos ląstelių, ir yra vertinamas bendras kiekvienos gardelės ląstelės pranešimų apie skrydžius skaičius. Oro erdvės sudalinimas į regiono SVC yra paremtas vienodu (ar beveik vienodu) pranešimų apie skrydžius skaičiumi, t. y. SVC, kuriuose skrydžiai yra intensyvūs pagal apimamą oro erdvę yra mažesni už SVC, kurių apimamoje oro erdvėje skrydžiai yra mažiau intensyvūs. Tas pats principas yra taikomas nustatant SV sektorius regiono SVC viduje. Metodas numato, kad regiono SVC buvimo vieta yra parenkama arba prie pagrindinių oro uostų, arba šalia pagrindinių oro kelių, ir naudojant atitinkamus algoritmus regiono SVC teritorijos augimas yra valdomas.

Šio metodo pranašumą atspindi JAV vykdyti tyrimai, kurių metu buvo taikoma „tuščio lapo“ koncepcija, t. y. nebuvo rišamasi nei prie pagrindinių oro kelių, nei prie oro uostų.

Šie tyrimai parodė, kad optimalią (ar artimą optimaliai) oro erdvės struktūrą galima nustatyti tik taikant „tuščio lapo“ koncepciją ir nepriklausomą oro erdvės diskretizavimo būdą. Tokiu nepriklausomu ir rekomenduotinu būdu yra laikytinas gardelės taikymas, kuris sudaro sąlygas priskirti tyrimui naudojamus skry-

džių duomenis ir analizuoti įvairaus kompleksiskumo oro erdvės elementus. Struktūrizuota gardelė įgalina pakankamai tiksliai modeliuoti tiriamas oro erdvės struktūros regiono mastu.

Diskretizuotoje oro erdvėje, kuriai yra priskiriami tyrimui naudojami skrydžių duomenys, atitinkamiems oro erdvės elementams sudaryti yra taikytini klasterizacijos metodai. Keleto oro erdvės tyrimų metu buvo taikomi klasterizacijos metodai, bet pagal juose keltus uždavinius pasirinkti buvo nehierarchiniai klasterizacijos metodai.

Populiariausias K vidurkių metodas (Famanelli, 2005), kuris mūsų keliamo uždavinio atveju nėra visiškai tinkamas, nes optimalų regioninių OEB skaičių mes turime nustatyti, taip pat nėra aiškūs klasterizacijos centrai, ir hierarchinių klasterizacijos metodų taikymas sudarys sąlygas toliau skaidyti suformuotus regioninius OEB į regiono SVC ir SV sektorius, tuo užtikrinant visų šių oro erdvės struktūrų nuoseklų tarpusavio sąryšį, ir sudaryti sąlygas optimaliai integruoti ir vykdyti visas skrydžio fazes.

1.6. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas

Išnagrinėjus OEV sistemų efektyvumą sąlygojančius veiksnius, oro erdvės organizavimo regiono mastu prielaidas bei atlikus disertacijos tema literatūros analizę, nustatyta, kad:

1. OEV sistemos veikla yra tobulintina be išskirtinimų visuose regionuose ir visi OEV sistemą sudarantys elementai galėtų funkcionuoti optimaliau. Oro erdvės organizavimas nustato sąlygas OEV sistemos veiklai ir nulemia su tuo susijusį skrydžių efektyvumą. Oro erdvės organizavimo regiono mastu klausimas yra svarbi ir perspektyvi tolesnių tyrimų sritis.
2. Oro erdvės organizavimas turėtų būti atliekamas keliomis pakopomis: pirmiausia – regiono mastu, suformuojant regioninius OEB pagal vyraujančius skrydžių srautus taip, kad vėliau, žemesniu lygiu, sudaryti regioniniai OEB, įgyvendinant taktinius oro eismo paslaugų teikimo tikslus toje teritorijoje, galėtų būti dalinami į regiono SVC ir SV sektorius, užtikrinant oro erdvės vientisumą ir visų skrydžio operacijų optimalų integravimą.
3. OEV sistemos veiklos efektyvumą regiono mastu lemia skrydžių užlaidkymo dėl OEV veiklos kiekis ir horizontalių skrydžių trajektorijų nuokrypis nuo trumpiausio atstumo tarp išvykimo ir paskirties oro uostų.
4. Optimalus oro erdvės organizavimas regiono mastu galimas, kai nėra rimamosi prie egzistuojančių skrydžių informacijos regionų (SIR), SVC, SV oro kelių bei navigacinių priemonių tinklų. Tyrimo metu turėtų būti

atsižvelgiama tik į skrydžių srautus, pagrindinių oro uostų ir karinių zonų išsidėstymą ir taikoma „tuščio lapo“ koncepcija.

5. Tyrimui tinkamiausia būtų naudoti nepriklausomą oro erdvės diskretizavimo būdą. Tikslinga naudoti struktūrinę gardelę.
6. Įvertinus tai, kad atliekant oro erdvės organizavimą regiono mastu regioniniams OEB sudaryti turėtų būti taikomi įvairūs šių OEB rodikliai – apribojimai (jų dydžiui, formai ir kt.), tam turėtų būti naudojami klasterizacijos su apribojimais metodai. Siekiant užtikrinti oro erdvės vientisumą tarp regioninių OEB, regiono SVC ir SV sektorių, tikslinga taikyti hierarchinius klasterizacijos metodus.

Vertinant atliktos analizės rezultatus šio darbo uždaviniai yra:

1. Išanalizuoti, kokie oro erdvės organizavimo metodai taikomi atliekant oro erdvės organizavimą regiono mastu.
2. Pasiūlyti oro erdvės organizavimo regiono mastu metodiką pagal pagrindinius skrydžių srautus.
3. Siūlomą metodiką ir joje siūlomus tyrimo metodus ištirti pritaikant ją realiai regiono oro erdvei, kurioje ja būtų nustatytas optimalus regioninių OEB skaičius.

Erdvinės analizės metodai, jų naudojimas oro erdvės formavimui

Šiame skyriuje apžvelgiami oro erdvės organizavimo procese taikomi metodai ir priemonės. Analizuojama oro erdvė suprantama kaip fizinė erdvė, kurioje vykdomi realūs skrydžiai.

Remiantis pirmo skyriaus išvadomis, kad oro erdvei diskretizuoti reikėtų naudoti metodus, nesusijusius su esamu oro kelių tinklu ir atsižvelgus į tai, kad analizuojant oro erdvę pagal horizontalias skrydžių vykdymo trajektorijas tyrime naudojami labai didelės apimties duomenys, tikslinga oro erdvę diskretizuoti į sudedamąsias dalis, kuriose turimi skrydžio duomenys būtų apibendrinami.

Šio skyriaus medžiagoje pateikiama gardelių sudarymo metodų apžvalga ir nagrinėjami regioniniams OEB formuoti galimi taikyti gardelės ląstelių klasterizacijos metodai.

Šio skyriaus medžiaga aprobuota 15-ios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos Respublikinėje konferencijoje „Aviacija 2012“ ir publikuota žurnale „Transport“ (Kondroška ir Stankūnas, 2012a) ir „Aviation“ (Stankūnas ir Kondroška, 2012b).

2.1. Gardelių apžvalga

Remiantis pirmajame skyriuje padarytomis išvadomis, kad, nagrinėjant oro erdvę regiono mastu, netikslinga prisirišti prie oro kelių tinklo ir naudoti nepriklausomus oro erdvės diskretizacijos metodus, konkrečiai – gardeles, toliau detaliau analizuosime, kaip remiantis gardelėmis apdorojami ir analizuojami duomenys.

Paprastai gardelė yra tik pagrindas ar priemonė, padedanti pasirengti tolesniems skaičiavimams, kurios pagrindu fizinė erdvė yra diskretizuojama į mažesnes ir skaičiavimus palengvinančias erdves (Thompson; Warsi ir Mastin, 1997). Gardelės generavimas gali būti apibrėžiamas kaip tvarkingo objektų skirstymo procedūra fizinėje erdvėje taip, kad būtų užtikrinamas efektyvus ryšys tarp objektų ir kad nenutrūkstamoje tiriamoje erdvėje visi reiškiniai galėtų būti pateikti tinkamu tikslumu.

Gardelės struktūra, jos tinkamumas atitinkamiems uždaviniams spręsti, fizinis pritaikomumas ir galimybė pasirinkti labiausiai tinkamą gardelę yra ypač svarbus transporte (Kondroška ir Stankūnas, 2012a). Konkretus gardelės formos ir tipo pasirinkimas priklauso nuo sprendžiamo uždavinio kompleksiskumo, pasirinkto sprendimo metodo, tiriamos erdvės ir siekiamų tikslų.

Vienmatėje erdvėje gardelės ląstelė yra uždara linija ar segmentas, kurio ribą sudaro du taškai – gardelės viršūnės. Dvimatėje erdvėje gardelės ląstelė – tai dvimatė paprastai sujungta sritis, kurios kraštinė yra sudalinta į baigtinį vienmačių elementų skaičių, vadinamų ląstelių kraštinėmis. Paprastai dvimatės gardelės ląstelės yra trikampio, keturkampio ar šešiakampio formos. Trimatėje erdvėje gardelės ląstelė suprantama kaip paprastai sujungtas daugiasienis, kurį sudaro baigtinis dvimačių ląstelių skaičius, vadinamų gardelės ląstelės plokštumomis. Paprastai trimatėje erdvėje gardelės ląstelės sudaro tetraedrai ir heksaedrai.

Nors kai kuriems uždaviniams spręsti gali būti pasirenkamos kreivalinijinės gardelės ląstelės, kurios gaunamos deformuojant įprastus linijinius simpleksus, jos darbe nėra analizuojamos.

Atsižvelgiant į gardelės ląstelių formą, heksaedro ir keturkampio formos gardelės ląstelių trimatėje erdvėje pranašumas yra tas, kad atitinkamos jų plokštumos ir kraštinės gali būti susietos su koordinačių ašimis, ko negalima padaryti su tetraedro gardele. Tačiau tada, jei tiriama erdvė turi smailių kampų, esant sąlyginai didelėms heksaedro ar keturkampio formos gardelės ląstelėms, gali būti sunku tiksliai įvertinti sritis, esančias prie apribotos tiriamos erdvės krašto, kur šie kampai yra. Atsižvelgiant į pirmo skyriaus išvadas, kad oro erdvei diskredituoti dvimatėje erdvėje yra tikslinga naudoti kvadratinės gardelės ląstelės, ląstelės kraštinės ilgis turi užtikrinti pakankamą tikslumą prie tiriamos oro erdvės išorinių ribų. Ląstelėms n dimensinėje erdvėje ar paviršiuje yra bendrai naudojami paprasti standartiniai n dimensiniai tūriai.

Išskiriamos dvi gardelių klasės – struktūrizuotos ir nestruktūrizuotos. Šios klasės skiriasi pagal tai, kaip gardelės ląstelių viršūnės yra lokaliai organizuotos.

Jei lokalinė gardelės ląstelių viršūnių struktūra ir gardelės ląstelių forma nepriklauso nuo jų vietos sekoje, bet yra apibrėžtos bendros taisyklės, tokią gardelę vadiname struktūrizuota. Jei kaimyninių gardelės ląstelių viršūnių jungimas skiriasi nuo vienos viršūnės prie kitos, tokia gardelė vadinama nestruktūrizuota. Struktūrizuotoje gardelėje gardelės jungumas yra besąlygiškas, o nestruktūrizuotos gardelės jungumas turi būti aiškiai paaiškintas atitinkamos duomenų struktūros procedūra.

Abi gardelių klasės gali sudaryti tokius gardelių tipų poskyrius: blokinės struktūros, netvarkingos struktūros ir hibridinės struktūros. Šie gardelių tipai tam tikra apimtimi turi tiek struktūrizuotų, tiek ir nestruktūrizuotų gardelių savybių, taigi užima tarpinę poziciją tarp struktūrizuotų ir nestruktūrizuotų gardelių. Darbe toliau nagrinėsime tik struktūrizuotas gardeles.

Gardelių naudojimo metodo tikslumas fizinėje erdvėje priklauso nuo duomenų išsidėstymo gardelėje paklaidos ir nuo interpoliacijos paklaidos. Pirmuoju atveju tyrimo paklaidos gali atsirasti dėl to, kad matematinis modelis negali visiškai atspindėti tiriamo fizinio reiškinių, taip pat dėl paklaidos atliekant aproksimavimą matematiname modelyje, dėl paklaidos, susijusios su gardelės ląstelės dydžiu ir forma, dėl skaičiavimuose taikomų aproksimacijų bei dėl interpoliacijos proceso paklaidų. Galimos paklaidos rodo, kad pati gardelė yra labai svarbi užtikrinant tyrimo kiekybinį ir kokybinį tikslumą.

Kitas svarbus veiksnys, taikant skaitmeninius algoritmus, yra skaičiavimų laikas ir efektyvumas. Būtent taikomas gardelių metodas padeda užtikrinti kompleksinių uždavinių sprendimo efektyvumą.

Yra skiriamos dvi pagrindinės gardelės n dimensinėje baigtinėje srityje sąvokos:

- kaip algoritmiškai apibrėžtų srities ar paviršiaus taškų seka, kur taškai vadinami gardelės viršūnėmis.
- kaip algoritmiškai apibrėžta n dimensinių tūrių visuma, apimanti būtiną srities ar paviršiaus dalį. Standartiniai tūriai yra laikomi gardelių ląstelėmis.

Įvertinus tai, kad gardelės parinkimą sąlygoja jos struktūra ir tinkamumas atitinkamiems uždaviniams atlikti bei fizinio sprendimo įgyvendinimas, kuris ypač svarbus taikomuosiuose ir transporto krypties moksluose, konkretus gardelės ląstelės formos pasirinkimas priklauso nuo geometrinio ir fizinio sprendžiamo uždavinio sudėtingumo bei pasirinkto sprendimo metodo.

Atsižvelgiant į tai, kad pagal savo prigimtį oro erdvė yra susieta ir jos elementai nustatomi pagal globalias geografines koordinates, oro erdvė yra susijusi su makroskopinėmis erdvės ir laiko sritimis. Ši savybė apibrėžia tai, kad visi

matavimai yra atliekami riboto dydžio erdvėje, o matavimų rezultatai yra susieti su globaliomis koordinatėmis.

Erdviniai duomenys apima tam tikro reiškinių, susieto su erdve, stebėjimą ir matavimą. Tiriamą oro erdvę suskaidžius į gardelę, skrydžių duomenų susietumas su gardelės ląstele, sujungta su koordinatinių sistema, yra labai aiškus. Šiuo atveju kiekvienas taškas Žemės paviršiuje yra aprašomas geografinė platuma ir ilguma.

Skaiciavimai naudojant geografinę platumą ir ilgumą yra gana ilgi ir jiems turi būti taikoma sferinė geometrija. Atstumas (s_{ij}) tarp bet kurių dviejų taškų, esančių sferos paviršiuje, apskaičiuojamas pagal didžiojo apskritimo atstumą, naudojant formulę:

$$s_{ij} = R \arccos[\cos(90^\circ - \phi_i)\cos(90^\circ - \phi_j) + \sin(90^\circ - \phi_i)\sin(90^\circ - \phi_j)\cos(\lambda_j - \lambda_i)] \quad (2.1)$$

čia R yra Žemės spindulys ir taško i geografinė platuma ir ilguma.

Didžiojo apskritimo atstumas taip pat yra geodezinis – trumpiausias atstumas tarp dviejų taškų ant sferos paviršiaus. Skaiciuojant pasitelkus erdvinius duomenis, dažnai yra tikslingiau nekreipti dėmesio į Žemės linkimą ir daryti prielaidą, kad paviršius yra plokštuma. Naudojant Dekarto koordinatinių sistemą, atstumas tarp dviejų taškų skaičiuojamas remiantis Pitagoro teorema:

$$d_{1,2} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (2.2)$$

čia vieno taško koordinatės yra $x_1; y_1$, o kito – $x_2; y_2$.

Tam, kad duomenis būtų galima konvertuoti iš sferinių koordinatinių sistemos į plokštumines sistemas, reikia sferinių koordinatinių projekcijos plokštumoje. Yra daug įvairių projekcijų su skirtingomis sąlygomis ir konstravimo režimais (Bugayevskiy ir Snyder, 1995). Galima būtų išskirti du pagrindinius projekcijų tipus: konforminį ir lygaus ploto.

Taikant konforminį projekcijų tipą užtikrinamas kampų tarp taškų išsaugojimas. Taikant lygaus ploto projekciją yra išsaugomas plotų santykis. Lygaus ploto projekcijose taikoma Lamberto, t. y. cilindrinė lygaus ploto projekcija:

$$x = R\lambda_j \quad (2.3)$$

$$y = R\sin\phi \quad (2.4)$$

Reikėtų atkreipti dėmesį, kad koordinatinių platuma piečiau ekvatoriaus ir ilguma į vakarus nuo Grinvičo dienovidinio atliekant skaičiavimus laikomos neigiamomis.

Erdvinės analizės metodų taikymas nėra toks paprastas ir turi savų ypatumų: erdvinė koreliacija, tiriamos erdvės ribų efektas, atsiranda duomenų tarpusavio ryšys. Pagrindinė prielaida yra ta, kad matavimai yra nepriklausomi, tačiau kiekvienas su kiekvienu susijęs ir arčiau vienas kito esantys objektai yra labiau susiję nei objektai, esantys toli vienas nuo kito (Tobler, 1970).

2.2. Gardelių generavimo metodų analizė

Siekiant tiriamą oro erdvę suskaidyti į gardelę ir taip skrydžius priskirti atitinkamai gardelės ląstelėi, reikia ją transformuoti į skaičiavimui pritaiktą sritį.

Struktūrizuotos gardelės ląstelės formos pasirinkimas yra pagrįstas jų geometrinio paprastumu ir tuo, kad daugumoje egzistuojančių skaičiavimo procedūrų šie elementai naudojami dalinių diferencinių lygčių aproksimacijai. Remiantis pirmojo skyriaus išvadomis, erdvės tyrimui, nepriklausomai nuo jos formos ir konfigūracijos (ypač regiono mastu), tikslinga naudoti stačiakampio formos gardelės ląsteles. Naudojant stačiakampę gardelę, jos struktūrą sudarančių koordinatinių linijų susikirtimo tinklas užtikrina paprastesnį objektų priskyrimą tiriamoje erdvėje, lyginant su naudojamomis kitos formos gardelės ląstelėmis.

Be to, kad skaičiavimai būtų paprastesni, tikslinga skaičiuojamąją sritį pasirinkti kvadrato formos, kuri būtų suskaidoma į struktūrizuotas gardelės ląsteles.

Sudarant gardelę, kurios ląstelės yra vienodo dydžio, stačiakampėje baigtinėje erdvėje nereikia taikyti sudėtingų metodų, o tiriamos erdvės taškai sutampa su skaičiuojamos srities taškais. Atsižvelgiant į tai, kad tiriamos oro erdvės dėl Žemės formos negalima laikyti stačiakampe, pritaikant skaičiuojamą erdvę tiriamajai reikia atlikti tam tikrą interpoliaciją. Ši interpoliacija sudaro paklaidas dėl galimų nevienodų gardelės ląstelių dydžių prie tiriamos erdvės ribų ir tuo susijusia aproksimacija. Tam, kad to būtų išvengta, reikalinga tam tikra transformacija iš tiriamos erdvės į skaičiuojamąją erdvę, įgalinančią tiriamą erdvę transformuoti į struktūrizuotą kvadratinę gardelę. Tai gali būti atliekama susiejant abi erdves su bendra geografinių koordinatinių sistema, kuri vėliau įgalins joms priskirti tyrimui naudojamų skrydžių duomenis pagal vykdytų skrydžių horizontalias (geografines) trajektorijas.

Efektyviausios yra struktūrizuotos gardelės, kurių generavimas dažniausiai paremtas n -mačio regiono $\mathbf{X}^n$ c $\mathbf{R}^n$ gardelės viršūnių ir ląstelių priskyrimu referencinei gardelei kokioje nors standartinėje erdvėje $\mathbf{E}^n$ su tam tikra $\mathbf{E}^n$ srities transformacija į $\mathbf{X}^n$ sritį (Smith ir Wiese, 1986).

$\mathbf{E}^n$ sritis apibrėžia skaičiuojamąją sritį:

$$\mathbf{x}(\xi): \mathbf{E}^n \rightarrow \mathbf{X}^n, \xi = (\xi^1, \dots, \xi^n), \mathbf{x} = (\mathbf{x}^1, \dots, \mathbf{x}^n) \quad (2.5)$$

Skaiciavimams taikoma gardelė gali būti fiksuota ar pritaikoma. Fiksuotos gardelės pranašumas yra tas, kad ji nekinta kintant tyrimui, o adaptuojamoji gardelė gali kisti priklausomai nuo tyrimo.

Taigi, tiriant oro erdvę, konkretaus regiono oro erdvės tyrimui tikslinga taikyti fiksuotą gardelę, nes tai įgalina naudoti įvairius duomenis bei tiriamos analizės tyrimą įvairiuose jos sluoksniuose, nustatant, kaip konkrečioje geografinėje teritorijoje pasiskirsto skrydžių srautai skirtinguose tiriamos erdvės sluoksniuose.

Vienas pagrindinių gardelės generavimo bendroje erdvėje aspektų yra tai, kad turima didelė pasirinkimo laisvė, gardelių generavimo technikos nėra apribotos koku nors vienu apibrėžimu. Pagrindinis praktinis sudėtingumas taikant gardelių generavimo technikas yra pasirinkimas būtent tos technikos, kuria remiantis galima geriausiai realizuoti uždavinio reikalavimus.

Kiekvienas metodas turi savų stiprių ir silpnų pusių. Todėl iškyla klausimas, kaip tinkamai pasirinkti efektyviausią metodą bet kokiam specifiniam uždaviniui, atsižvelgus į geometrinį kompleksiskumą, sąnaudas generuojant gardelę, gardelės struktūrą ir kitus veiksnius. Kai gardelės ląstelės viršūnės yra ant tiriamos erdvės krašto, laikoma, kad gardelė atitinka ar apibrėžia tiriamos erdvės ribas.

Tiriamos erdvės X^n ribas atitinkančios gardelės generavimas pradedamas nuo tiriamos erdvės X^n ribos ir einant į jos gilumą.

Šis procesas yra analogiškas interpoliacijos funkcijai nuo ribos ar diferencinės erdvės ribos vertės uždavinio sprendimui. Remiantis tuo, skiriamos trys pagrindinės gardelių generavimo metodų grupės:

- algebriniai metodai, naudojantys įvairias interpoliacijos formas ar specialias funkcijas;
- diferenciniai metodai, daugiausia skirti ekliptinių, parabolinių ir hiperbolinių lygčių sprendimui tiriamuose transformuotose erdvėse;
- variaciniai metodai, kurie remiasi gardelės kokybės savybių optimizavimu.

Taikant algebrinius metodus vidiniai gardelės taškai paprastai yra apskaičiuojami taikant baigtinės interpoliacijos formules (Smith, 1982).

Algebriniai metodai yra palyginus paprasti, įgalina pakankamai greitai sugeneruoti gardelę ir leidžia kontroliuoti koordinačių atstumus ir polinkį naudojant atitinkamus koeficientus taikomose baigtinės interpoliacijos formulėse. Be to, taikant šiuos metodus yra išlaikomos tiriamos erdvės ribų savybės. Taigi, algebriniai metodai paprastai naudojami generuojant gardeles baigtinei erdvei (Nguyen, 1989), kurios ribos yra palyginus aptakios ir nėra labai deformuotos.

Diferenciniai metodai, pagrįsti ekliptinių ir parabolinių lygčių sprendimu, taikomi tiriamajai erdvei su sudėtinga riba.

Remiantis šiais metodais išvestos vidinės koordinačių linijos visada yra tolygios ir be aštrių kampų. Tačiau metodai, paremti hiperbolinių lygčių sprendimu, ne visada yra matematiškai tikslūs, ir nėra tinkami erdvių, kurių ribos griežtai apibrėžtos tyrimui. Šie metodai labai tinkami suardytų gardelių tyrimui.

Variaciniai metodai yra plačiai naudojami generuoti gardelėms, kurios turi tenkinti daugiau kaip vieną sąlygą ir kurių negalima realizuoti taikant algebrinius ar diferencinius metodus. Paskutiniu metu variaciniai metodai nėra plačiai taikomi praktiškai gardelėms generuoti.

Toliau plačiau nagrinėsime algebrinius gardelės sudarymo metodus. Sudaroma gardelė turi užtikrinti:

- kad tos pačios eilės gardelės linijos nesikirstų;
- nuoseklų gardelės viršūnių pasiskirstymą;
- gardelės linijų ortogonalumą;
- klasterizacijos pasirinkimo galimybes;
- kuo didesnę gardelės ląstelių sutapimą su tiriamos oro erdvės šoninėmis ribomis.

Algebriniai gardelės sudarymo metodai nėra labai sudėtingi ir yra pakankamai greitai ir sudaro sąlygas tiriamą erdvę transformuoti į stačiakampę gardelę, o jų taikymas tiriant oro erdvės organizavimą visiškai atitinka keliamus uždavinius.

$$\xi = \mathbf{x} \quad (2.6)$$

$$\eta = \frac{y}{y_t} \quad (2.7)$$

y_t žymi viršutinę ribą, kuri yra išreiškiama:

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{H}_1 + \frac{\mathbf{H}_2 - \mathbf{H}_1}{\mathbf{L}} \mathbf{x} \quad (2.8)$$

Gali būti padaryta išvada, kad formulė 2.7 gali būti išreikšta:

$$\eta = \frac{y}{\mathbf{H}_1 + \frac{\mathbf{H}_2 - \mathbf{H}_1}{\mathbf{L}} \mathbf{x}} \quad (2.9)$$

ir

$$\mathbf{y} = (\mathbf{H}_1 + \frac{\mathbf{H}_2 - \mathbf{H}_1}{\mathbf{L}} \xi) \eta \quad (2.10)$$

Sudarius gardelę konkrečių uždavinių sprendimui yra nustatomi dydžiai $\mathbf{L}$, $\mathbf{H}_1$ ir $\mathbf{H}_2$. Norimas gardelės taškų skaičius nustatomas $\mathbf{IM}$ (maksimalus taškų skaičius ξ), ir $\mathbf{JM}$ (maksimalus gardelės taškų skaičius η). Tokiu atveju gardelės kraštinės ilgis nustatomas taip:

$$\Delta \xi = \frac{L}{IM-1} \quad (2.11)$$

$$\Delta \eta = \frac{1.0}{JM-1} \quad (2.12)$$

Lygtyje 2.12 η yra normalizuotas ir kinta nuo 0 iki 1.

Gardelių interpoliacijos tikslumas labai priklauso nuo to, kaip pasirinkta gardelė atitinka tiriamos erdvės geometriją. Svarbu, kad gardelės viršūnės tinkamai aproksimuotų erdvėje esančius taškus ir užtikrintų, kad atstumas tarp bet kurio tiriamos erdvės taško ir artimiausios gardelės viršūnės nebūtų per didelis. Taip pat svarbus gardelės geometrinis atitikimas, kuris yra susijęs su tiriamos erdvės aproksimacija naudojant pasirinktą gardelę, t.y. turi būti tinkamas gardelės viršūnių skaičius, apibrėžiantis tiriamos erdvės kraštą taip, kad gardelės ląstelių kraštinių seka dvimateje erdvėje ir gardelės ląstelių plokštumų seka trimatėje erdvėje tinkamai jį formuotų.

2.3. Duomenys ir objektų ar jų savybių klasifikavimas

Kaip ir kiti objektai, oro erdvėje vykstantys skrydžiai, jų intensyvumo dinamika gali būti apibūdinama atitinkamais oro erdvės bei skrydžių duomenimis. Bet koks duomenų rinkinys gali būti analizuojamas taikant duomenų analizės metodus, leidžiančius gauti papildomos informacijos apie analizuojamą objektą, procesą ar reiškinį, todėl šių metodų taikymas įgalina išnagrinėti pagrindinių skrydžių pasiskirstymą bei pagal juos nustatyti optimalų oro erdvės organizavimą regiono mastu.

Oro erdvės tyrimuose daugiausia remiamasi statistiniais skrydžių duomenimis ir tam tikromis prielaidomis. Atsižvelgiant į tai, kad tuo pačiu maršrutu skrendančio orlaivio maršrutas (horizontali skrydžio trajektorija) dėl kintančių oro eismo, meteorologinių ir kitų sąlygų nėra pastovi, remiantis statistiniais duomenimis, priklausomai nuo tyrimo tikslo, galimi šie nukrypimai gali turėti reikšmės tyrimo rezultatams.

Tyrimui parinkti duomenys vadinami duomenų imtimi ir yra iš generalinės aibės (populiacijos) tyrimui atrinktų objektų grupė. Populiacija – tai objektų, kurių požymiai tiriami, aibė.

Pagrindinis imties parametras – imties dydis. Imtis yra sudaroma pagal tam tikrus principus, siekiant, kad ją tiriant būtų galima norimai tiksliai apibūdinti tiriamos populiacijos generalinę aibę (Diday, 1988).

Duomenų analizės rezultatas – išvados apie visą populiaciją, todėl pagrindinė imties savybė yra jos reprezentatyvumas. Todėl tyrimui parinkti duomenys turi atspindėti visos populiacijos savybes.

Prieš pradedant analizuoti tyrime naudojamus duomenis, reikia tiksliai apibrėžti, kas yra tiriamasis objektas ir kokie jo požymiai. Objektais gali būti transporto priemonės, orlaiviai, žmonės ir pan., sudarantys nagrinėjamą objektų aibę, apibūdinami bendromis visiems jiems savybėmis.

Paprastai objektų skaičius žymimas raide m , o savybių skaičius – n . Atskiras analizuojamos aibės objektas yra apibrėžiamas atitinkamų savybių reikšmių rinkiniu. Kai atskirą objektą apibrėžia daugiau kaip viena savybė, tokie duomenys vadinami daugiamačiais.

$$\mathbf{X}_i = \mathbf{x}_{i1}, \mathbf{x}_{i2}, \dots, \mathbf{x}_{in}, i \in \{1, \dots, m\} \quad (2.13)$$

čia i – objekto eilės numeris,

$$\mathbf{X} = \{\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \dots, \mathbf{X}_m\} = \{\mathbf{x}_{ij}, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n\} \quad (2.14)$$

$$\mathbf{X}_i \in \mathbf{R}^n, \text{ čia } \mathbf{X}_i = (\mathbf{x}_{i1}, \mathbf{x}_{i2}, \dots, \mathbf{x}_{in}), i \in \{1, \dots, m\} \quad (2.15)$$

čia m – analizuojamų objektų skaičius.

Tiriamoje oro erdvėje sudarius gardelę skrydžių duomenys yra priskiriami kiekvienai jos ląstelei pagal vykdytų skrydžių skaičių. Siekiant suformuoti regioninius OEB, šios gardelės ląstelės turi būti suklasifikuotos (sugrupuotos), kad atitiktų formuojamiems regioniniams OEB keliamus reikalavimus.

Klasifikavimas yra tiriamų objektų arba jų savybių jungimas į klases, grupes ar tipus pagal giminingumą, panašumą, skirtumus, atstumą, koreliacinio ryšio stiprumą ar kitus artumo matavimus.

Daugelis dabartiniu metu naudojamų klasifikavimo metodų atsirado kaip įvairių sričių specialistų (psichologų, sociologų, matematikų ir t. t.) bendro darbo rezultatas. Šiuo metu žinomas didelis skaičius klasifikavimo metodų, kurie sėkmingai taikomi įvairiems uždaviniams spręsti.

Kartais pasitaiko, kad tiems patiems duomenims taikant skirtingus klasifikavimo metodus, gaunami skirtingi rezultatai. Pažymėtina, kad tarp klasifikavimo metodų yra daug euristicinių, teorinio pagrindimo neturinčių, metodų, todėl vykdant tyrimą svarbu tinkamai klasifikuoti. Klasifikuojant objektus ar jų savybes (požymius) taikomi parametriniai ir neparametriniai metodai.

Tuo atveju, kai populiacija yra sudaryta iš kelių žinomų skirstinių, šių skirstinių parametrai vertinami naudojant parametrinius metodus. Jei apie populiaciją turime tik bendro pobūdžio žinių (pvz., skirstinys yra tolydusis ir t. t.), taikomi neparametriniai metodai.

Klasijų egzistavimas priklauso nuo klasifikuojamų objektų arba savybių (požymių) pasiskirstymo daugiamačioje erdvėje:

- jei klasifikuojamų objektų savybių (požymių) skirstinys yra daugiamačis normalusis (objektai pasiskirstę taip, kad sudaro vieną sutankėjimą –

monomodalinį skirstinį), tokiu atveju realių klasių nėra, tačiau klasifikuojamų objektų sutankėjimo sritį galime išskirti į atskirą klasę.

- jei klasifikuojamų objektų savybių (požymių) skirstinys yra daugiamodalinis, t. y. egzistuoja kelios sutankėjimo sritys, klasėmis laikomos objektų sutankėjimo sritys ir jas supančios retesnio objektų išsibarstymo sritys.

Atsižvelgus į duomenų (objektų) pasiskirstymą nagrinėjamoje erdvėje, gali būti, kad klasės nėra pakankamai gerai išreikštos. Atliekant tyrimus transporto srityje ar nagrinėjant gamtos reiškinius, objektų klasės išsiskiria aiškiau nei klasifikavimą taikant socialinių reiškinių tyrimams vykdyti. Svarbus uždavinys, veikiantis tyrimo rezultatus, yra optimalaus klasių skaičiaus parinkimas. Klasifikacija turi įgyvendinti tam tikrus konkrečios sprendžiamo uždavinio tikslus, todėl akivaizdu, kad klasifikuojamų objektų savybių skaičius yra baigtinis. Skirtingi tyrėjai tuos pačius objektus gali klasifikuoti naudodami ir skirtingus klasifikavimo metodus, ir skirtingus objektų požymius.

Objektų klasifikavimą galėtume įvardinti kaip grupės panašių, bet ne identiškų objektų pakeitimą vieno apibendrinto tipo objektais. Akivaizdu, kad klasifikavimas (grupavimas) visada susijęs su tam tikros dalies informacijos praradimu. Be to, kuo klasifikavimo metu yra sudaroma daugiau klasių (grupių), tuo mažiau informacijos yra prarandama. Taigi, optimalia laikoma tokia klasifikacija, kuri užtikrina minimalų formuojamų klasių skaičių su sąlyga, kad informacijos praradimas neviršytų iš anksto nustatyto dydžio.

Galima išskirti tris sąlygas, kurios, užtikrindamos minimalų informacijos praradimą, leidžia sumažinti požymių erdvės skaičių:

- informacijos dubliavimas (tarp požymių yra stiprus koreliacinis ryšys);
- mažas požymių informatyvumas (maža požymio reikšmių sklaida populiacijoje);
- kelių požymių apjungimo galimybė (pvz., vieną požymį išreikšti kito ar kitų požymių tiesiniu dariniu).

2.4. Klasterinės analizės apžvalga

Panašių objektų klasifikavimą į atitinkamas klases atlieka klasterinė analizė. Siekiant konkrečių tyrimo tikslų turi būti numatyta, kaip turimi ar tyrimo metu gauti duomenys bus suskirstyti į prasmingus junginius (Jain; Murty ir Flynn, 1999).

Pagrindinis klasterinės analizės tikslas – skirtingų objektų skirstymas į grupes (klasterius) pagal maksimalų jų panašumą grupėje ir kuo didesnius skirtumus nuo kitų grupių.

Skirstant objektus į klasterius dažniausiai nėra aišku, kiek klasterių tiriamoje populiacijoje realiai egzistuoja ir ar išvis egzistuoja. Taigi, tam tikra prasme klasterinė analizė yra egzistuojančių struktūrų paieška.

Klasterinė analizė yra gana plati ir skirtinga bei taikoma įvairiose srityse, ne išimtis ir transporto sritis. Ji taip pat gali veikti ir kaip klasifikavimo priemonė. Klasifikavimo tikslas – apibrėžti skirtingų savybių kategorijas, pagal kurias atliekamas struktūrinis objektų ir jų tarpusavio ryšių atvaizdavimas.

Klasterinė analizė yra statistinis klasifikavimo metodas, tačiau skiriasi nuo klasifikavimo. Klasifikavimas grynąją prasme siejasi su žinomu skaičiumi klasifikavimo grupių, ir nauji stebėjimai yra priskiriami vienai iš jų.

Klasterinėje analizėje paprastai nėra daroma prielaidų dėl grupių struktūros, o grupavimas į klasterius remiasi panašumais ar skirtumais. Klasterinė analizė – tai tyrimo metodas, kai nustatant klasterius apibrėžiami susiję atributai. Tokia analizė yra labai rezultatyvus metodas.

Kalbant apie statistinių duomenų analizę, pati savaime klasterinė analizė nenustato konkretaus statistinio metodo ar modelio. Tai dažniausiai lemia tyrimui naudojamų duomenų apimtis ir tyrimo tikslai. Dėl pritaikomumo spręsti įvairių sričių uždavinius, klasterinė analizė naudojama įvairiose srityse: geologijoje, medicinoje, transporte ir t. t.

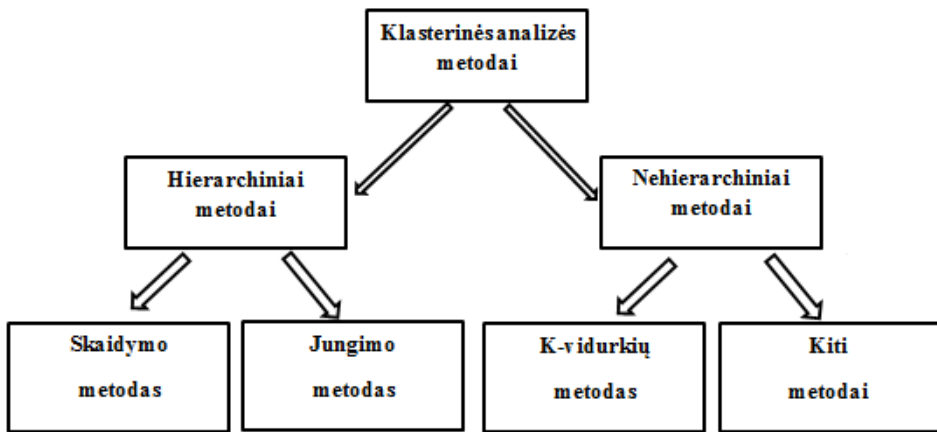
Klasterinė analizė – tai metodas, skirtas identifikuoti homogeninėms objektų arba savybių grupėms (klasteriams), kai nėra informacijos apie dalies tiriamų objektų (savybių) priklausomybę konkrečiai klasei.

Objektai (savybės) suskirstomi į klasterius taip, kad skirtumai klasteriuose būtų kuo mažesni, o tarp klasterių – kuo didesni. Panašūs objektai priklauso tam pačiam klasteriui, nutolę objektai – skirtingam klasteriui.

Pats paprasčiausias būdas suvokti dviejų savybių, kurių duomenys sudaro keletą homogeninių grupių, skirstymo į klasterius reiškinių, yra nubraižyti šių dviejų savybių sklaidos (*Scatterplot*) diagramą. Kai objektų arba savybių (požymių) skaičius didelis, derinami klasterinės ir faktorinės analizės metodai.

2.4.1. Klasterinės analizės metodų grupės

Paprastai skiriamos dvi klasterinės analizės metodų grupės: tai hierarchiniai ir nehierarchiniai klasterinės analizės metodai (2.1 pav.).



2.1 pav. Klasterinės analizės metodai

Fig. 2.1. Methods of Clustering Analysis

Jei taikomas hierarchinis klasterinės analizės metodas, daroma prielaida, kad visi duomenys formuoja vieną didelę klasterį, kurį, savo ruožtu, sudaro mažesni, o šiuos dar mažesni klasteriai. Hierarchiniai klasterinės analizės metodai skirstomi į jungimo metodus arba dalinimo metodus.

Taikant hierarchinį klasterinės analizės jungimo metodą, pagal tam tikras taisykles palaipsniui jungiami panašūs atskiri klasteriai, kol gaunamas bendras klasteris (Anderberg, 1973; Sneath ir Sokal, 1973; Hartigan, 1975; Everitt, 1980; Spath, 1980; Massart ir Kaufman, 1983).

Hierarchiniai klasterinės analizės skaidymo metodai yra loginė jungimo metodų priešingybė. Tuo atveju veikiama priešinga kryptimi, t. y. pradedama nuo to, kad yra vienas klasteris, kuris kiekvieno žingsnio metu yra skaidomas į du klasterius, kol kiekvienas objektas suformuoja atskirą klasterį.

Nehierarchiniai metodai paprastai taikomi tada, kai iš anksto žinomas arba parenkamas klasterių skaičius, norint tiriamus objektus klasteriuoti. Nehierarchiniai klasterinės analizės metodai, skirstomi į K -vidurkių ir kitus metodus. Šie klasterinės analizės metodai formuoja klasterius dalinant duomenis, dažniausiai į nepersidengiančias grupes, kurios tarpusavyje neturi hierarchinio ryšio. Taikant šiuos metodus duomenys sugrupuojami į k klasterių, kur k yra nustatomas iš anksto arba yra gaunamas proceso metu. K -vidurkių metodas yra vienas plačiausiai naudojamų nehierarchinių klasterinės analizės metodų.

Kiti nehierarchinės klasterizacijos metodai paprastai nėra naudojami dideliems kelių dimensijų duomenų srautams.

Pažymėtina, kad klasterinė analizė turi daug specifiškumo, ir tiems patiems duomenims naudojant skirtingus klasterizacijos metodus galimi skirtingi rezultatai (Pukėnas, 2005). Taigi, tinkamo klasterizacijos metodo parinkimas gali lemti tyrimo metu gautų rezultatų patikimumą. Todėl taikant kelis klasterizacijos metodus, galima išvengti klaidų.

Hierarchiniai klasterinės analizės metodai yra pagrindiniai statistiniai metodai formuojant homogeninius klasterius, remiantis matuojamomis charakteristikomis.

K vidurkių klasterinės analizės metodas pateikia tik vieną rinkinį klasterių, kurie nėra struktūriškai organizuoti. Todėl tais atvejais, kai klasteriai yra artimai susiję su kitais klasteriais, tai užtikrina hierarchiniai klasterinės analizės metodai, kuriais remiantis vaizduojant klasterių struktūrinę schemą braižoma dendograma.

Toliau nagrinėsime tik hierarchinius klasterizavimo metodus. Hierarchiniais metodais nustatoma bendra visų klasterių tarpusavio priklausomybių struktūra ir tik tada sprendžiama, koks klasterių skaičius optimalus.

Disertacijoje bus nagrinėjami tik nepersidengiančių klasterių metodai, t.y. tokie, kai objektas (savybė) priskiriama tik vienam klasteriui. Be jų yra persidengiančių klasterių metodai, kurie gali priskirti objektą (savybę) keliems klasteriams.

2.4.2. Klasterinės analizės taikymas

Panagrinėsime atvejį, kai reikia klasifikuoti objektus (arba jų savybes), nesant mokomųjų imčių.

Duota: n objektų $\mathbf{O}_1, \mathbf{O}_2, \dots, \mathbf{O}_n$, kurių savybes nusako matrica „objektai – savybės“

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1^{(1)} & \cdots & \mathbf{x}_n^{(p)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{x}_n^{(1)} & \cdots & \mathbf{x}_n^{(p)} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

arba artumo tarp objektų matrica

$$\boldsymbol{\rho} = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1m} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \cdots & \rho_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \rho_{m1} & \rho_{m2} & \cdots & \rho_{mm} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

čia $\mathbf{x}_i^{(k)}$ – objekto $\mathbf{O}_i$, k – toji savybė, ρ_{ij} – artumas tarp objektų (savybių).

Matrica „objektai – savybės“ yra transformuojama į artumo tarp objektų matricą, nurodžius artumo tarp objektų dydį, pagal kurį yra apskaičiuojamas artumas tarp objektų (savybių).

Klasifikavimo proceso metu vartojamos tokios sąvokos, kaip *panašumas*, *nepanašumas*, *skirtumas*, *atstumas*, *giminingumas*, *homogeniškumas*. Taigi, klasifikavimo metodai apima tam tikrą matų sistemą objektų (savybių) tarpusavio sąveikai įvertinti. Atsižvelgiant į tai, pagal kokią skalę yra išmatuoti analizuojami kintamieji, pasirenkami skirtingi artumo tarp objektų matai.

Kai $\mathbf{m} = \mathbf{n}$ poromis lyginami objektai, kai $\mathbf{m} = \mathbf{p}$ poromis lyginamos objektų savybės.

Artumų tarp objektų matricos elementais gali būti:

- objektų $\mathbf{O}_i$ ir $\mathbf{O}_j$ panašumų arba nepanašumų matai;
- kokio nors proceso intensyvumas;
- geometriniai atstumai tarp objektų $\mathbf{O}_i$ ir $\mathbf{O}_j$;
- pirmumo sąryšis;
- savybių $\mathbf{X}_i$ ir $\mathbf{X}_j$ koreliacijos koeficientai.

Klasterinės analizės uždavinys yra analizuojamą objektų aibę $\mathbf{O} \{ \mathbf{O}_i \}$ $i = 1, \dots, n$, matricas $\mathbf{X}$ arba $\mathbf{p}$ suskaidyti į nedidelį, iš anksto žinomą arba nežinomą skaičių homogeninių klasių (klasterių). Klasterinėje analizėje svarbu apibrėžti klasterizuojamų objektų homogeniškumo sąvoką. Paprastai artumo tarp objektų matricoje elementai $\mathbf{p}_{ij}$ apibūdina arba atstumą tarp objektų $\mathbf{d}(\mathbf{O}_i, \mathbf{O}_j)$, arba įvertina jų panašumo (nepanašumo) laipsnį $\mathbf{r}(\mathbf{O}_i, \mathbf{O}_j)$ daugiamatėje erdvėje.

Apibrėžiant panašumo laipsnį, reikia įvertinti ir standartinius reikalavimus:

- $\mathbf{r}(\mathbf{O}_i, \mathbf{O}_j) = \mathbf{r}(\mathbf{O}_j, \mathbf{O}_i)$ (simetriškumas, t. y. panašumas neturi priklausyti nuo to, kuris iš lyginamų objektų imamas pirmuoju, kuris – antruoju),
- $\mathbf{r}(\mathbf{O}_i, \mathbf{O}_j) = \max \mathbf{r}(\mathbf{O}_i, \mathbf{O}_j)$ (objektas labiausiai panašus į save).

Artumo tarp objektų dydžio parinkimas yra vienas iš pagrindinių klasterinės analizės uždavinių, nuo kurio priklauso ir galutinis objektų klasifikavimo į klasterius rezultatas.

Artumo tarp objektų dydžio parinkimo uždavinys sprendžiamas kiekvienu atveju atskirai ir priklauso nuo:

- klasifikavimo tikslo;
- fizinės ir statistinės stebimų objektų (savybių) prigimties;
- pradinių duomenų apie objektus (savybes) pilnumo;
- $\mathbf{X}$ tikimybinio skirstinio.

Taikant klasterizacijos metodus, kartais tikslinga matricos $\mathbf{X}$ reikšmes transformuoti. Tais atvejais, kai kintamųjų kitimo skalės yra labai skirtingos, tai atliekama juos standartizuojant taip, kad vidurkiai būtų lygūs nuliui, o dispersijos – vienetui. Pažymėtina, kad tokia procedūra gali sumažinti klasterių (klasių) skirtumus.

Kitas kintamųjų transformavimo būdas – svorių suteikimas. Tokiu atveju kintamųjų transformavimas leidžia jiems vaidinti didesnę arba mažesnę vaidmenį matuojant artumą tarp objektų (savybių).

Objektus apibūdinančius požymius matuojant pagal intervalų arba santykių skalę, dažnai naudojami metriniai artumo dydžiai. Šiuos dydžius galima būtų vadinti skirtingumo matais – kuo didesnė reikšmė, tuo objektai mažiau panašūs.

Siekiant išvengti skirtingos matuojamų objektų požymių įtakos, naudojamos šių kintamųjų standartizuotosios reikšmės ($\mathbf{z}$ reikšmės). Intervalinių kintamųjų panašumo matas gali būti ir koreliacijos koeficientas.

Metriniai atstumo dydžiai pasižymi šiomis savybėmis:

$$\mathbf{d}(i, j) \geq 0 \quad (2.18)$$

$$\mathbf{d}(i, j) = 0 \quad (2.19)$$

$$\mathbf{d}(i, j) = \mathbf{d}(j, i) \quad (2.20)$$

$$\mathbf{d}(i, j) \leq \mathbf{d}(i, k) + \mathbf{d}(k, j) \quad (2.21)$$

Taikant klasterizacijos metodus naudojama daug įvairių metrinių atstumo dydžių, todėl pateikiame tik šiuo atveju naudojamą metrinį atstumo matą.

Euklido atstumas. Euklido atstumas tarp taško $\mathbf{X}_i$ ir $\mathbf{X}_j$ – tai trumpiausias atstumas tarp šių objektų (taškų $\mathbf{p}$ -matėje erdvėje). Plokštumoje arba trimatėje erdvėje Euklido atstumas yra klasterizuojamus objektus (taškus) jungianti tiesė. Bendruoju $\mathbf{p}$ -matės erdvės atveju šis atstumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\mathbf{d}_E(i, j) = \sqrt{\sum_{s=1}^p (\mathbf{x}_i^{(s)} - \mathbf{x}_j^{(s)})^2} \quad (2.22)$$

2.4.3. Klasterių sudarymo metodai

Sudarant klasterius taikomas labiausiai sprendžiamo uždavinio tikslus atitinkantis klasterių sudarymo metodas.

Atsižvelgiant į tai, jog klasterizacijos metodo pasirinkimas gali turėti įtakos tyrimo rezultatų patikimumui, tiems patiems duomenims tikslinga taikyti keletą skirtingų metodų, ir, remiantis gautais rezultatais, pasirinkti tam uždaviniui labiausiai tinkamą metodą (Stankūnas ir Kondroška, 2012b).

Pažymėkime $\mathbf{S}_i$ – i -ąjį objektų klasterį (objektų, kurie priklauso klasteriui $\mathbf{S}_i$, numerių aibė), $\mathbf{n}_i$ – objektų skaičių klasteryje $\mathbf{S}_i$; $\mathbf{S}(i)$ – i -ojo klasterio savybių reikšmių vidurkių vektorių (i -ojo klasterio „svorio“ centrą), $\rho(\mathbf{S}_i, \mathbf{S}_m)$ – atstumą tarp klasterių $\mathbf{S}_i$ ir $\mathbf{S}_m$.

Dažniausiai naudojami šie klasterių sudarymo metodai (Sambamoorthi, 2011):

- Vienietinės jungties arba artimiausio kaimyno metodas. Taikant šį klasterių sudarymo metodą, atstumas tarp formuojamų klasterių yra apibrėžiamas kaip atstumas tarp skirtingiems klasteriams priklausančių dviejų artimiausių objektų.

$$\rho_{min}(S_l, S_m) = \min_{i \in S_l, j \in S_m} d(i, j) \quad (2.23)$$

- Pilnosios jungties arba tolimiausio kaimyno metodas (Sorensen, 1948). Taikant šį klasterių sudarymo metodą, atstumas tarp klasterių yra apibrėžiamas kaip atstumas tarp skirtingiems klasteriams dviejų priklausančių tolimiausių objektų arba savybių.

$$\rho_{max}(S_l, S_m) = \max_{i \in S_l, j \in S_m} d(i, j) \quad (2.24)$$

- Vidutinės jungties metodas. Šis metodas remiasi vidutiniu atstumu tarp visų galimų dviejų klasių objektų porų. Taikant šį klasterių sudarymo metodą, atstumas tarp klasterių yra lygus atstumo tarp visų galimų stebėjimų porų, kai vieni stebėjimo rezultatai imami iš vieno klasterio, o kiti – iš antro, vidurkiui gauti. Šio klasterizacijos metodo pranašumai lyginant su artimiausio ir tolimiausio kaimyno metodais pasireiškia tuo, kad taikant šį metodą naudojama informacija apie visas dviejų klasterių objektų poras, o ne tik apie artimiausius arba tolimiausius kaimynus.

$$\rho_{vid}(S_l, S_m) = \frac{1}{n_l n_m} \sum_{i \in S_l} \sum_{j \in S_m} d(i, j) \quad (2.25)$$

- Centrų metodas. Taikant šį klasterių sudarymo metodą, atstumas matuojamas tarp klasterių „svorio“ centrų.

$$\rho_c(S_l, S_m) = d(\bar{S}(l), \bar{S}(m)) \quad (2.26)$$

- Vardo metodas. Šis klasterių sudarymo metodas remiasi klasterių vidinės dispersijos minimizavimo principu. Čia naudojama tikslo funkcija – klasterio vidinių kvadratinių nuokrypių suma. Pradedant objektų klasterizaciją šiuo metodu, kiekvienas objektas sudaro atskirą klasterį. Kiekvieno etapo metu yra jungiami tie objektai arba klasteriai, kurių nuokrypių suma turi mažiausią reikšmę. Taikant vardo metodą, pradinis atstumas tarp individualių objektų yra proporcingas Euklido atstumo kvadratu. Remiantis šia ypatybe, atliekant klasterizaciją imamos klasterių poros ir apskaičiuojama klasteriuojamų objektų (savybių) vektorių nuokrypių nuo jungtinio klasterio centro kvadratų suma. Jungiami tie klasteriai, kuriuos sujungus nuokrypių suma yra mažiausia.

Pradinis atstumas klasteryje taikant Vardo metodą, apskaičiuojamas pagal 2.31 formulę:

$$\mathbf{d}_{ij} = \mathbf{d}(\{\mathbf{X}_i\}, \{\mathbf{X}_j\}) = \|\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j\| \quad (2.27)$$

Taikant šį metodą, sujungus I ir J klasterį jų kvadratų suma šiek tiek padidėja (2.32 formulė):

$$\begin{aligned} \Delta(\mathbf{A}, \mathbf{B}) &= \sum_{i \in \mathbf{A} \cup \mathbf{B}} \|\vec{\mathbf{x}}_i - \vec{\mathbf{m}}_{\mathbf{A} \cup \mathbf{B}}\|^2 - \sum_{i \in \mathbf{A}} \|\vec{\mathbf{x}}_i - \vec{\mathbf{m}}_{\mathbf{A}}\|^2 - \\ &- \sum_{i \in \mathbf{B}} \|\vec{\mathbf{x}}_i - \vec{\mathbf{m}}_{\mathbf{B}}\|^2 = \frac{n_{\mathbf{A}} n_{\mathbf{B}}}{n_{\mathbf{A}} + n_{\mathbf{B}}} \|\vec{\mathbf{m}}_{\mathbf{A}} - \vec{\mathbf{m}}_{\mathbf{B}}\|^2 \end{aligned} \quad (2.28)$$

čia $\mathbf{m}_j$ – klasterio j centras; n_j yra taškų skaičius klasteryje j .

Δ – klasterių jungimo svoris.

Taikant hierarchinius klasterizavimo metodus, kvadratų suma pradžioje yra 0 (kai kiekvienas taškas formuoja atskirą klasterį) ir vėliau, jungiant klasterius, ji didėja.

Vykdamas klasterizaciją šiuo metodu kvadratų suma didėja kaip įmanoma mažiausiu dydžiu. Pažymėtina, kad formulėje 2.29 yra atspindimas ir klasterių sudarančių taškų skaičius, ir jų geometrinis atstumas.

Tokiu atveju, jei yra dvi klasterių poros, kurių centrai yra vienodai nutolę, taikant vardo metodą bus jungiami mažiausieji. Formuojant klasterius, vardo metodu siekiama, kad klasteriai būtų didesni, ir kartu yra ribojimas prieš tai padarytų pasirinkimų, užtikrinančių, kad jo kvadratų suma duotam klasterių skaičiui k dažniausiai yra didesnis už minimumą, leistiną k , ir yra didesnis lyginant su k vidurkių metodu.

Taikant k vidurkių klasterizavimo metodą, nėra siūloma, koks turi būti optimalus klasterių k skaičius.

Taikant vardo metodą, vertinant klasterių jungimo svorius, duodama užuomina apie optimalų klasterių k skaičių. Jei klasterių jungimo svoris labai padidėja, tai reiškia, kad gali būti neigiamai paveikta formuojamų klasterių struktūra. Taikant vardo metodą reikėtų mažinti klasterių k skaičių, kol klasterių jungimo svoris pradės labai didėti, ir rinktis klasterius, suformuotus prieš patį šuolį.

Organizuojant oro erdvę regiono mastu, optimalus klasterių skaičius tiriamoje erdvėje nėra žinomas, todėl tikslinga naudoti hierarchinius klasterinės analizės metodus. Atliekant klasterizaciją yra naudojami svorinės gardelės ląstelių centroidai, kurie yra šias ląsteles reprezentuojantys taškai.

2.4.4. Hierarchiniai klasterizavimo metodai

Hierarchiniai metodai (Johnson, 1967) skirstomi į jungimo ir skaidymo metodus. Taikant jungimo metodus, iš pradžių visi objektai (savybės) traktuojami kaip atskiri klasteriai. Pirmojo klasterizavimo etapo metu du objektai (savybės)

yra sujungiami į klasterį, kiekvienu kito klasterizavimo etapo metu naujas objektas (savybė) yra prijungiamas prie esamo klasterio arba sujungiami du anksčiau sudaryti klasteriai (Duda ir Hart, 1973). Taikant hierarchinius klasterizacijos metodus, suformuotas klasteris vėliau jau negali būti skaidomas ir gali būti tik jungiamas su kitais klasteriais. Klasterizavimo etapai kartojami tol, kol lieka vienas klasteris. Kuriamo etape gautas klasteris yra optimalus, priklauso nuo tyrimo tikslų ir užduotų apribojimų formuojamiems klasteriams. Hierarchiniai skaidymo metodai yra loginė jungimo metodų priešingybė, t. y. vienintelis pradinis klasteris, kuriame yra visi objektai (savybės), nuosekliai skaidomas į dalis.

Skaidymo algoritmai. Objektų aibė skaidoma į dvi klases, tada kiekviena gauta klasė vėl į dvi ir t. t.

$$(\check{\mathbf{S}}_1, \check{\mathbf{S}}_2) = \arg \max_{\mathbf{S}_1 \cup \mathbf{S}_2 = \mathbf{S}} \rho(\mathbf{S}_1, \mathbf{S}_2) \quad (2.29)$$

čia $\mathbf{S}_1$ ir $\mathbf{S}_2$ – aibės $\mathbf{S}$ poaibiai.

Jungimo algoritmai. Pradinis skaidinys

$$\mathbf{S}^{(0)} = (\mathbf{S}_1^{(0)}, \dots, \mathbf{S}_n^{(0)}), \text{ čia } \mathbf{S}_i^{(0)} = \{\mathbf{O}_i\} \quad (2.30)$$

$\mathbf{k}$ – lygio skaidinys

$$\mathbf{S}^{(0)} = (\mathbf{S}_1^{(k)}, \dots, \mathbf{S}_{n-k}^{(k)}) \quad (2.31)$$

gaunamas iš $\mathbf{S}^{(k-1)}$, $\mathbf{k} \geq 1$ skaidinio sujungus klasių porą $\rho(\check{\mathbf{S}}_1, \check{\mathbf{S}}_2)$.

$$(\check{\mathbf{S}}_1, \check{\mathbf{S}}_2) = \arg \min_{\substack{\mathbf{S}_1 \neq \mathbf{S}_2 \\ \mathbf{S}_1, \mathbf{S}_2 \in \mathbf{S}^{(k-1)}}} \rho(\mathbf{S}_1, \mathbf{S}_2) \quad (2.32)$$

Galutinę hierarchiją sudaro įdėtų skaidinių sistema:

$$\mathbf{S}^{(0)} \subset \mathbf{S}^{(1)} \subset \dots \mathbf{S}^{(n-1)} \equiv \mathbf{O} \quad (2.33)$$

Šio proceso schema vaizduojama grafiku, vadinamu dendograma (Heller K.A. ir Ghahramani Z., 2005; Manning, 1999).

Vienoje dendogramos ašyje žymimi objektų numeriai, kitoje – atstumai tarp jų. Objektai į klasterius jungiami laužtėmis.

Tyrėjas, analizuodamas dendogramą vizualiai, nusprendžia, kuriame žingsnyje objektų paskirstymas į klasterius yra optimalus.

Tam, kad gauti rezultatai būtų teisingai interpretuojami, labai svarbus gautų klasterių atvaizdavimas (Duran ir Odell, 1974; Diday ir Simon, 1976; Michalski; Stepp ir Diday, 1981).

2.4. Antrojo skyriaus išvados

1. Atlikus gardelių generavimo metodų apžvalgą, nustatyta, kad tiriamos oro erdvės diskretizacijai tinkamiausia yra struktūrizuota kvadratinė gardelė.
2. Nustatyta, kad struktūrizuotai kvadratinei gardelei, skirtai tiriamai oro erdvei diskretizuoti, suformuoti tinkamiausi yra algebriniai gardelės formavimo metodai.
3. Nustatyta, kad prieš pradedant svorinių gardelės ląstelių klasterizavimą, tikslinga jas, remiantis jose atliktų skrydžių skaičiumi pagal tyrimui naudojamus duomenis, suskirstyti į atitinkamą skaičių klasių.
4. Atlikus klasterinės analizės apžvalgą, buvo nustatyta, kad optimalus regioninių OEB skaičius tiriamoje oro erdvėje gali būti nustatytas remiantis hierarchiniais klasterizacijos metodais.
5. Gardelės ląstelių klasterizavimui tikslinga jas reprezentuojančius taškus – jų centroidus.
6. Nustatyta, kad, siekiant išvengti galimų skirtingų tiriamos oro erdvės analizės rezultatų dėl skirtingų klasterinės analizės metodų taikymo, tikslinga oro erdvės analizei parinkti du labiausiai tinkamus metodus, kurių rezultatų sugretinimas užtikrintų optimalaus regioninių OEB skaičiaus ir formos nustatymą.

Regioninių oro erdvės blokų formavimo metodikos sudarymas

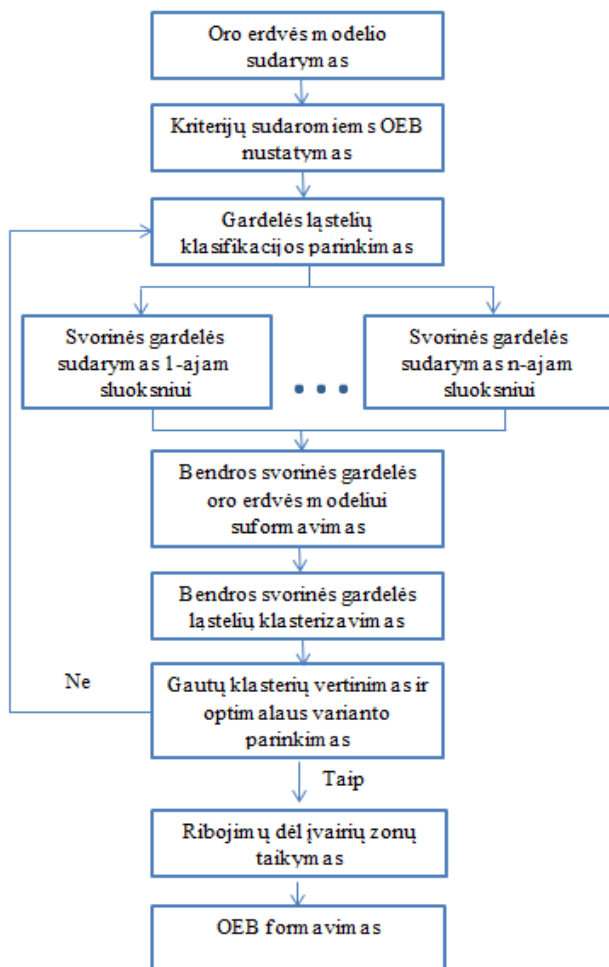
Kaip matyti iš pirmame ir antrame skyriuje pateiktos medžiagos, oro erdvės struktūros fragmentacija neigiamai veikia OEV sistemos ir, tuo pačiu, skrydžių efektyvumą. Esamos oro erdvės fragmentacijos, kuri dažniausiai yra dėl suskaidytos oro erdvės pagal valstybių sienas, panaikinimas ir regioninių OEB sudarymas remiantis pagrindiniais skrydžių srautais padėtų sudaryti sąlygas, kad ši įtaka būtų sumažinta.

Šiame skyriuje sudaroma regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodika.

Šio skyriaus medžiaga aprobuota tarptautinėje konferencijoje „*Aviation '2009*“, Respublikinėje konferencijoje „*Aviacija 2011*“ ir Respublikinėje konferencijoje „*Aviacija 2012*“ bei publikuota žurnale „*Transport*“ (Kondroška ir Stankūnas, 2012a), „*Aviation*“ (Stankūnas ir Kondroška, 2012b), „*Mokslas – Lietuvos ateitis*“ (Kondroška ir Stankūnas, 2010) ir *Aviacijos technologijos: 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos medžiaga* (Kondroška ir Stankūnas, 2012e).

3.1. Regioninių oro erdvės blokų formavimo uždaviniai

Remiantis pirmame ir antrame skyriuje išnagrinėtais oro erdvės metodais šiame skyriuje pateikiama metodika, pagal kurią oro erdvė yra organizuojama regiono mastu, ir tai sudaro sąlygas vietinę oro erdvę organizuoti vėliau regiono mastu sudarytų oro erdvės blokų pagrindu. Bendra metodikos schema pavaizduota 3.1 paveiksle.



3.1 pav. Regioninių oro erdvės blokų formavimo metodikos schema
Fig. 3.1. Regional Airspace Block formation scheme

Atsižvelgiant į oro erdvės vykdomų tyrimų stipriąsias ir silpnąsias puses, modeliuojant tyrimą regiono mastu būtų tikslinga atlikti šiuos pagrindinius etapus:

- nustatyti nagrinėjamą oro erdvę horizontalioje ir vertikalioje plokštumoje;
- pasirinkti oro erdvės diskretizavimo į sudėtinės dalis metodą;
- nustatyti sudėtinių nagrinėjamų oro erdvės dalių „svorio“ įvertinimo veiksnius;
- nustatyti sudėtinių oro erdvės ląstelių grupavimo į oro erdvės blokus reikalavimus;
- nustatyti optimalų formuojamų oro erdvės blokų skaičių ir jų ribas nagrinėjamoje oro erdvėje.

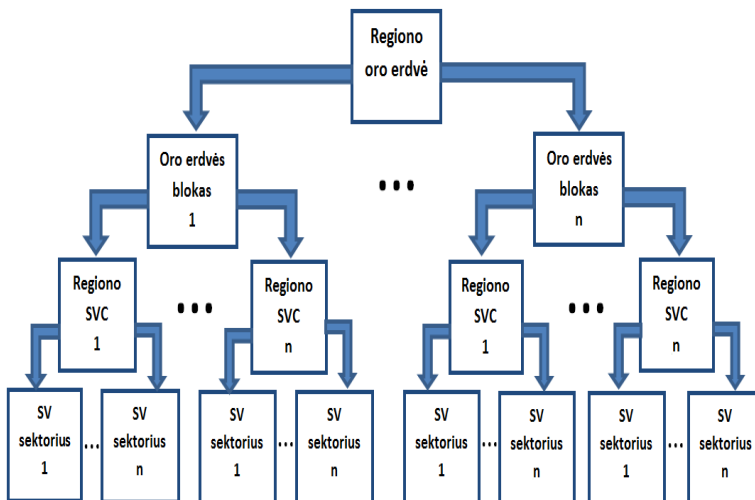
Tokia oro erdvės blokų formavimo metodika apima visas pagrindines oro erdvės analizės fazes. Transportas yra dinamiška ir labai greitai kintanti sritis, todėl turi būti sukurtos moksliskai pagrįstos metodikos, įgalinančios efektyviai koordinuoti tiek strateginius tikslus, tiek ir techninius bei technologinius įgyvendinimo principus.

3.2. Tiriamos oro erdvės nustatymo analizė

Pirmasis etapas oro erdvės tyrime yra tikslus nagrinėjamo objekto apibrėžimas ir nustatymas, keliuose sluoksniuose tiriamoji erdvė turėtų būti analizuojama. Paprastai norimos nagrinėti oro erdvės horizontalios ir vertikalios ribos yra aiškiai apibrėžtos, nes tikslus nagrinėjamos oro erdvės nustatymas lemia gautų tyrimo rezultatų tikslumą bei patikimumą.

Idealiu atveju visa regiono oro erdvė turėtų būti vientisa, tačiau, atsižvelgiant į esamus oro eismo paslaugų teikimo, oro erdvės pralaidumo ir saugos lygio užtikrinimo ypatumus, ji turi būti sudalinta į tam tikrą, tačiau nedidelį, funkcinių pagrindų sudarytų regioninių OEB skaičių, kurie jau vėliau, įgyvendinant taktinius oro eismo paslaugų teikimo tikslus toje teritorijoje, būtų dalinami į SVC oro erdvę ir ją sudarančius SV sektorius (Kondroška ir Stankūnas, 2012a). Tai apsprendžia ribojimai susiję su skrydžių vadovų protinėmis ir fizinėmis ribomis. Atsižvelgiant į tai, oro erdvė, priklausomai nuo skrydžių sudėtingumo ir kiekio, yra dalijama į skrydžių valdymo sektorius, kiekvienam iš jų priskiriant skrydžių vadovą (Delahaye; Alliot; Schoenauer ir Farges, 1995).

Schematinis siūlomas oro erdvės dalinimas pavaizduotas 3.2 paveiksle. Toks oro erdvės dalinimo metodas leidžia užtikrinti sąlygas, kad formuojami regioniniai OEB atitiktų jiems keliamus efektyvumo kriterijus, ir oro erdvės vientisumą.



3.2 pav. Oro erdvės organizavimo metodas

Fig. 3.2. Airspace organization method

Atsižvelgus į formuojamiems regioniniams OEB keliamus reikalavimus, akivaizdu, kad juos formuojant turi būti įvertinti visos oro erdvės (aukšutinės ir žemutinės) ypatumai.

Sprendimai apie pokyčius sistemoje turi būti priimami ne tik analizijuojant objektą išoriškai, bet ir įvertinant procesus vykstančius tame objekte, kurie gali įtakoti kriterijus charakterizuojančius priimamų sprendimų efektyvumą (Grigorak ir Shkvar, 2011).

Aviacija nuo kitų transporto rūšių skiriasi tuo, kad orlaiviai iš išskridimo oro uosto į paskirties oro uostą vyksta oru, o patį skrydį su išlyga būtų galima suskirstyti į keletą fazių: riedėjimas aerodrome, aukštėjimas ir žemėjimas bei skrydis kreiseriniame skrydžių lygyje. Orlaivio riedėjimo aerodrome fazė tiesiogiai nėra susijusi su oro erdve, todėl, nustatant oro erdvės organizavimą regiono mastu, vertinti šios skrydžio fazės įtaką nėra tikslinga. Kitos skrydžio fazės yra tiesiogiai susijusios su oro erdvės panaudojimu ir į jas tyrimo metu turi būti detalai atsižvelgiama. Lyginant šias, su oro erdvės panaudojimu susijusias, dvi fazes pabrėžtina ne tik tai, kad orlaiviams aukštėjant ir žemėjant jų skrydžio profilis nuolat kinta, o skrydžio kreiseriniame aukštyje fazės metu orlaivių skrydžio profilio kitimas yra nedidelis, bet ir kad šios skrydžio fazės skiriasi oro navigacijos paslaugų organizavimo aspektu. Įvertinus tai, kad aukštėjama ir žemėjama paprastai žemutinėje erdvėje, o skrydis kreiseriniame skrydžių lygyje – aukštuti-

nėje erdvėje, toliau nagrinėjant žemutinę ir aukštutinę oro erdvę taip pat turimos omenyje ir pagrindinės skrydžių fazės, kurios vykdomos jose.

Priklausomai nuo tiriamos erdvės vertikalų ribų ir atsižvelgus į skrydžių fazių skirtumus žemutinėje ir aukštutinėje oro erdvėje tikslinga pasirinkti, keli oro erdvės sluoksniai bus tiriami. Tokiu atveju, jei tirama oro erdvė apima ir viršutinę, ir žemutinę oro erdvę, poreikį vykdyti tyrimą keliuose oro erdvės sluoksniuose lemia skirtingų orlaivio skrydžio fazių ypatumai, veikiantys tiek skrydžio parametrus ir vertikalias orlaivių trajektorijas, tiek ir oro navigacijos paslaugų teikimo ypatumus. Aukštėjimo ir žemėjimo skrydžių fazės metu orlaivių skrydžių profilis nuolat kinta, todėl šios skrydžio fazės vyksta išvykimo ir atvykimo oro uostų prieigose, ir tai šioje erdvėje OEV sistamai kelia papildomą užduotį – atskirti atskrendančius ir išskrendančius skrydžių srautus.

Pagal šių skrydžio fazių ypatumus ir gana tankų oro uostų ir specialios paskirties zonų (draudžiamųjų, pavojingų, ribojimo, laikinai išskirtų bei karinių) tankį žemutinėje erdvėje, nustatant oro erdvės struktūrą, tiriamą oro erdvę būtų tikslinga analizuoti bent jau dviejuose sluoksniuose. Pagal ICAO reikalavimus, oro erdvė su išlyga dalinama į žemutinę ir aukštutinę oro erdvę su skiriamąja linija – 195 skrydžių lygiu. Atsižvelgiant į vidutinius skrydžio fazių parametrus (nurodančius plačiausiai naudojamų orlaivių technines charakteristikas) ir oro navigacijos paslaugų ypatumus, tikslesne sąlygine riba tarp šių dviejų skrydžio fazių laikytinas 285 skrydžių lygis, kuris būtent dėl šių priežasčių pasirinktas Europos regione, siekiant nustatyti aukštutinį Europos skrydžių informacijos regioną.

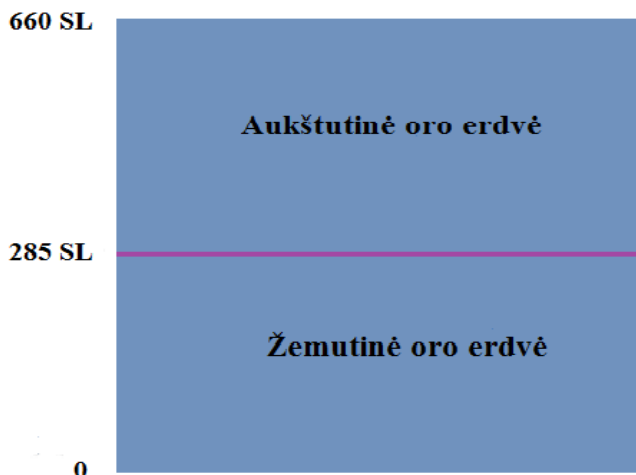
Atsižvelgus į tai, kad skirtingų tipų orlaivių skrydžio profiliai skrendant tuo pačiu maršrutu gali smarkiai skirtis, daroma prielaida, kad šios tos pačios klasės orlaivių charakteristikos labai panašias.

Daugumos oro linijų orlaivių kreiserinis skrydžių lygis yra virš 285 skrydžių lygio. Realų skrydžių profilių kitimas aiškiai išskiria orlaivio aukštėjimo ir žemėjimo bei skrydžio kreiseriniame aukštyje fazes. Būtent dėl šių skrydžio fazių skirtumų vertikalioje plokštumoje, kuriuos lemia orlaivių techninės charakteristikos, skiriasi ir oro eismo paslaugų teikimo organizavimas.

Siekiant pasinaudoti aviacijoje diegiamomis ar numatomomis naujomis technologijomis ir optimizuoti horizontalias ir vertikalias skrydžio trajektorijas, orlaivių žemėjimo ir aukštėjimo fazėms skirta oro erdvė apie oro uostus yra plečiama.

Pagal prieš tai minėtų skrydžių fazių skirtumus ir kad būtų maksimaliai atskirti skrydžiai, skrendantys kreiseriniame aukštyje nuo aukštėjančių ir žemėjančių skrydžių ribos, esančios 285 skrydžių lygyje, nustatymas turint tikslą atskirti aukštutinę ir žemutinę oro erdvę būtų tikslesnis. 285 skrydžių lygyje nustatyta sąlyginė riba, maksimaliai atskirtų skrydžius kreiseriniame skrydžių lygyje nuo

aukštėjančių ir žemėjančių skrydžių bei įvairios aviacinės veiklos žemutinėje oro erdvėje (3.3 pav.).



3.3 pav. Aukštutinės ir žemutinės oro erdvės atskyrimas

Fig. 3.3. Airspace division between Upper and Lower

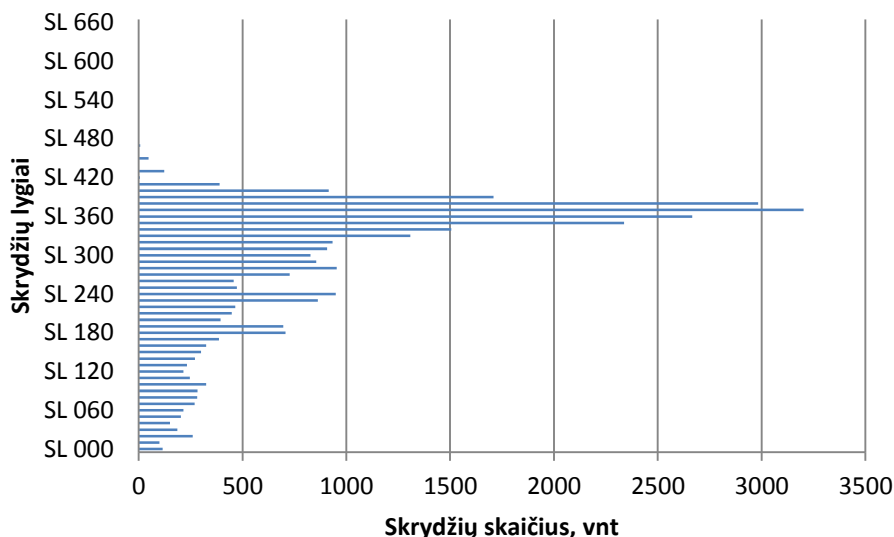
Taigi reikėtų analizuoti bent jau du oro erdvės sluoksnius. Tačiau siekiant tiksliau įvertinti aukštėjimo ir žemėjimo fazes, papildomai reikėtų vertinti ir kitus oro erdvės sluoksnius, kurie turi savų ypatumų, ypač aukštėjimo ir žemėjimo fazių metu.

Todėl papildomai tikslinga nagrinėti oro erdvės sluoksnį nuo žemės paviršiaus iki 95 SL, kuris apima orlaivių operacijas apie oro uostus, ir nuo 95 SL iki 195 SL, kuriame paprastai atliekamas atvykstančių ir išvykstančių skrydžių srautų skirstymas ir artėjančių orlaivių eiliškumo nustatymas.

Modeliuojant oro erdvę, svarbu įvertinti skrydžių lygių užimtumą ir jo dinamiką (Kondroška ir Stankūnas, 2010). Europos regione oro erdvėje iki 410 skrydžių lygio, įskaitant sumažinto vertikalios skirstymo tarp orlaivių zoną, yra taikomas 1000 pėdų vertikalus skirsniavimas, o nuo 410 iki 660 skrydžių lygio – 2000 pėdų skirsniavimas.

Atsižvelgiant į tai, kad net tos pačios skrydžių fazės metu skrydžių pasiskirstymas vertikalioje plokštumoje gali būti netolygus, siekiant įvertinti tokio pasiskirstymo įtaką oro erdvės analizės metu be skrydžių fazių įvertinimo dar reikėtų nagrinėti ir oro erdvės sluoksnius, kuriuose stebimas ženklus skrydžių skaičiaus skirtumas.

Vertikalaus oro erdvės užimtumo analizės pavyzdys pateikiamas 3.4 paveiksle.



3.4 pav. Vertikalaus oro erdvės užimtumo pavyzdys

Fig. 3.4. An example of vertical usage of Airspace

Analizuoti tikslinga tik oro erdvės sluoksnius, kurių minimalus storis vertikalioje plokštumoje yra apie 100 SL. Atsižvelgiant į tai, kad analizuojamų oro erdvės sluoksnių tiriamoje oro erdvėje parinkimas priklauso nuo tyrimui taikomų skrydžių duomenų, ir kiekvienu atveju gali būti skirtingas, todėl kaskart analizuojant oro erdvę duomenys parenkami iš naujo tam atvejui.

3.3. Taikomų duomenų analizė

Siekiant, kad oro erdvės tyrimas būtų tikslus, labai svarbu naudoti tinkamus, tikslus ir patikimus duomenis. Galimų naudoti skrydžių duomenų apimtis ir įvairovė yra gana didelė, o jų pasirinkimas priklauso nuo tyrimo tikslų. Vienas iš oro erdvės analizės uždavinių – kiekybiškai įvertinti tiriamos oro erdvės skrydžių operacijų skaičių ir įvairovę.

Galimus naudoti skrydžių duomenis galėtume iš dalies suskirstyti į dvi grupes:

- statistinius realiai įvykusių skrydžių duomenis;
- statistinius planuotų skrydžių duomenis.

Siekiant įvertinti prognozuojamą skrydžių dinamiką (vidutinės trukmės ar ilgalaikę), šių duomenų grupių ir atitinkamų skrydžių prognozių pagrindu gali būti modeliuoti duomenys, perteikiantys prognozuojamus skrydžių dinamikos pokyčius. Skrydžių prognozių patikimumas priklauso nuo jų periodo; prognozių periodui ilgėjant, jų patikimumas mažėja.

Pagal tyrimo tikslus oro erdvė gali būti organizuojama regiono mastu taikant tokius modeliuotus duomenis:

- prognozuojami skrydžių duomenys, sudaryti pagal statistinius realiai vykdytus skrydžių duomenis, naudojantis pripažintomis prognozėmis;
- prognozuojami skrydžių duomenys, sudaryti pagal statistinius planuotų skrydžių duomenis, naudojantis pripažintomis prognozėmis;
- statistiniai realiai įvykusių skrydžių duomenys, kurių skrydžio maršrutai buvo pakoreguoti pritaikant jiems laisvų skrydžių koncepciją;
- statistiniai planuotų realių skrydžių duomenys, kurių skrydžio maršrutai buvo pakoreguoti pritaikant jiems laisvų skrydžių koncepciją;
- prognozuojami skrydžių duomenys, sudaryti pagal statistinius realiai įvykusius skrydžių duomenis, naudojantis pripažintomis prognozėmis ir kurių skrydžio maršrutai buvo pakoreguoti pritaikant jiems laisvų skrydžių koncepciją;
- prognozuojami skrydžių duomenys, sudaryti pagal statistinius planuotus skrydžių duomenis, naudojantis pripažintomis prognozėmis, kurių skrydžio maršrutai buvo pakoreguoti pritaikant jiems laisvų skrydžių koncepciją.

Tyrimui regiono mastu naudojamų duomenų pasirinkimas priklauso nuo regiono specifikos, regione vykdomų skrydžių neatitikimo optimalioms horizontalioms skrydžių trajektorijoms dydžio ir skrydžių prognozių patikimumo ir stabilumo.

Priklausomai nuo tiriamo regiono oro erdvėje vykdomų skrydžių specifikos ir OEV sistemos ypatumų, gali būti didesnis ar mažesnis skirtumas tarp realiai vykdytų ir planuotų skrydžių.

Planuodami norimą maršrutą ir vertikalų skrydžio aukštį, oro erdvės naudotojai išreiškia savo pageidavimus, kurie daugiau ar mažiau įgyvendinami realių skrydžių metu, atsižvelgus į skrydžio metu esantį skrydžių srautų kompleksškumą, meteorologines sąlygas ir OEV sistemos pralaidumą skrydžių maršrute bei išvykimo ir atvykimo oro uostų galimybes.

Taigi planuojami ar jų pagrindu sumodeliuoti skrydžių duomenys labiau atitinka oro erdvės naudotojų lūkesčius, tačiau realiai vykdyti ar jų pagrindu sumodeliuoti skrydžių duomenys labiau atitinka vyraujančių srautų horizontaliąsias trajektorijas.

Siekiant įvertinti numatomą skrydžių srautų dinamiką, tyrimo metu svarbu įvertinti ir skrydžių prognozes regione. Dėl nuolat kintančios skrydžių apimtys

ir skrydžių skaičiaus, skrydžių srautų dinamika nėra pastovi. Oro erdvės naudotojai planuodami skrydžio maršrutus, ypač ilgo nuotolio, atsižvelgia į daugelį aplinkybių: maršruto ilgį, oro navigacijos paslaugų įkainius, meteorologines sąlygas, regionų politinį stabilumą ir pan., tačiau tokių, kurių negalėtume pavadinti pastoviomis ir dėl priklausomybės nuo tuo metu esamų sąlygų – ne visuomet valdomomis.

Taigi, galima teigti, kad skrydžių prognozavimo patikimumas skirtinguose regionuose gali būti skirtingas ir ne visada tiksliai atspindėti skrydžių srautų dinamiką. Be to, esant krizinei situacijai ar staigiam ekonominiam šuoliui viename ar kitame pasaulio regione, darančiame ar galinčiame daryti įtaką aviacijos sistemos veiklai, prognozavimo tikslumas mažėja.

Todėl skrydžių srautų prognozės yra nuolat tikslinamos ir, priklausomai nuo aplinkybių, gali labai skirtis nuo prieš tai buvusių. Tyrimui naudojamų duomenų patikslinimas stabiliomis ir patikimomis skrydžių prognozėmis gali smarkiai padidinti oro erdvės tyrimo rezultatų patikimumą.

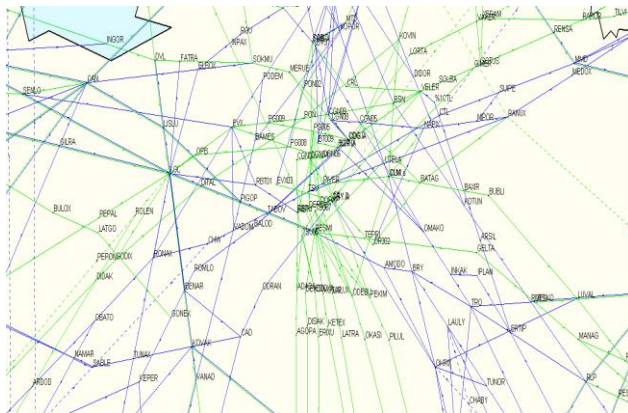
Jei regione, kuriame vykdomas oro erdvės tyrimas, vidutinis skirtumas tarp vykdomų skrydžių horizontalių trajektorijų ir optimalių horizontalių šių skrydžių trajektorijų yra daugiau kaip 3 %, siekiant tikslesnių oro erdvės organizavimo tyrimo rezultatų, reikėtų tyrimui naudojamus skrydžių duomenis patikslinti prireikus jiems laisvų skrydžių oro erdvės koncepciją.

Pažymėtina, kad regionuose, kur šie skirtumai yra mažesni, tyrimui naudojamų duomenų taikymas pagal laisvų skrydžių oro erdvės koncepciją apčiuopiamos naudos neduos (Kettunen; Hustache; Fuller; Howell; Bonn ir Knorr, 2005).

3.4. Gardelės taikymas oro erdvės tyrimui regiono mastu

Pirmame ir antrame skyriuje nagrinėta medžiaga parodė, kad dabartiniai oro kelių bei antžeminių navigacinių priemonių tinklai tiek pasaulyje, tiek ir Europos regione (3.5 pav.) dėl įvairių priežasčių nėra visiškai idealūs ir negali užtikrinti oro erdvės naudotojų poreikių bei optimalaus skrydžių efektyvumo.

Organizuojant oro erdvę regiono mastu pagal skrydžių srautus ir atsižvelgiant į tai, kad naudojant tobulesnes navigacijos sistemas orlaivių skaičius, dalį ar visą skrydį skrendančių ne oro keliais, nuolat didėja, bei remiantis pirmo ir antro skyriaus išvadomis pažymėtina, kad naudoti oro kelių ar antžeminių navigacijos priemonių išsidėstymo tinklus, priskiriant tyrimui naudojamus skrydžių duomenis, kad būtų galima nagrinėti regiono oro erdvę, nėra tikslinga.



3.5 pav. Dabartinio Europos oro kelių tinklo fragmentas
Fig. 3.5. Fragment of the current Airway Network in Europe

Oro erdvės organizavimo tyrimų analizė rodo, kad remtis egzistuojančiu oro kelių tinklu būtų tikslinga tik regionuose, kur oro kelių tinklas yra labai tankus, ir tik ten, kur šis yra labai artimas optimalioms horizontalioms skrydžių trajektorijoms. Remiantis pirmojo skyriaus išvadomis, tiriamos regiono oro erdvės diskretizacijai turėtų būti taikomas nepriklausomas būdas, leidžiantis priskirti tyrimui naudojamus skrydžių duomenis. Taigi, nagrinėjant regiono oro erdvę ir taikant daug duomenų vienas iš tiksliausių oro erdvės diskretizacijos būdų yra naudoti gardeles.

Paprastai gardelė yra tik priemonė, padedanti pasirengti tolesniems skaičiavimams, tačiau naudojant jas galima lengviau ir tiksliau diskretizuoti tiriamą oro erdvę bei operuoti dideliais duomenų kiekiais. Naudojant gardelių metodą taip pat paprasčiau apibrėžti su tiriamos erdvės tikslu ribų apibrėžimu susijusius sunkumus.

Antrojo skyriaus išvados rodo, kad naudojant gardeles oro erdvės tyrimui ne tik padeda išvengti tyrimo paklaidų, susijusių su prisirišimu prie oro kelių ir antžeminių navigacinių priemonių tinkle, bet ir leidžia priskirti tyrimui taikomus duomenis atitinkamai tiriamos oro erdvės daliai.

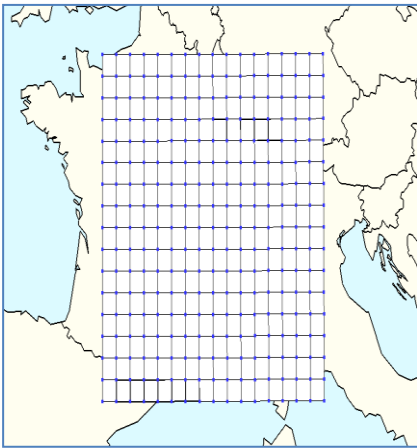
Apsisprendimą, kokią gardelę naudoti, lemia gardelės struktūra ir jos tinkamumas atitinkamiems uždaviniams spręsti bei praktinis sprendimo įgyvendinimas, kuris ypač svarbus transporto srityje. Taigi, konkretus gardelės ląstelės formos pasirinkimas priklauso nuo geometrinio ir fizinio sprendžiamo uždavinio sudėtingumo, pasirinkto sprendimo metodo, tiriamos erdvės ir siekiamų tikslų.

Paprastai gardelių ląstelių kraštinės ir plokštumos yra linijinės. Standartinės gardelės ląstelės formos pasirinkimas yra pagrįstas jų geometrinio paprastumu ir tuo, kad dauguma egzistuojančių skaičiavimo procedūrų naudoja šiuos elementus.

Pagrindinė prielaida atliekant erdvinę analizę yra ta, kad matavimai yra nepriklausomi, tačiau kiekvienas su kiekvienu susijęs ir arčiau vienas kito esantys objektai yra labiau susiję, nei objektai, esantys toli vienas nuo kito.

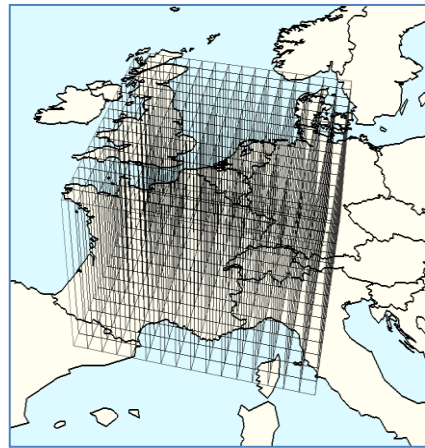
Taikant struktūrizuotą stačiakampę gardelę užtikrinamas pakankamas tyrimo tikslumas ir sudaromos sąlygos atlikti įvairiems skaičiavimams. Pagrindinis motyvas renkantis stačiakampės gardelės ląstelės dydį yra tiriamos oro erdvės dydis. Kuo mažesnė gardelės ląstelė pasirenkama, tuo tikslesnis yra tyrimas. Tačiau yra keletas sąlygų, ribojančių galimybes pasirinkti labai mažą gardelės ląstelę: techninės galimybės užfiksuoti orlaivį ląstelėje ir susidarantis labai didelis kiekis tyrimo duomenų, jei tiriama oro erdvė yra pakankamai didelė.

Gardelės generavimas gali būti apibūdinamas kaip tvarkingo objektų skirstymo procedūra fiziniėje erdvėje taip, kad būtų užtikrinamas efektyvus ryšys tarp objektų ir kad vientisoje tiriamoje erdvėje visi reiškiniai galėtų būti pateikti reikiamu tikslumu. Dvimatė ir trimatė kvadratinės gardelės pavaizduota 3.6 ir 3.7 paveiksluose.



3.6 pav. Dvimatės kvadratinės gardelės pavyzdys, naudojamos oro erdvei diskretizuoti

Fig. 3.6. Example of 2D square grid for Airspace partitioning



3.7 pav. Trimatės gardelės, naudojamos oro erdvei diskretizuoti, pavyzdys

Fig. 3.7. Example of 3D grid for Airspace partitioning

Pagal siūlomą oro erdvės diskretizavimo metodą, priklausomai nuo dalinio lygmens (OEB arba regiono SVC ar SV) ir išvardintų operacinių bei techninių motyvų, gardelės ląstelės dydis turėtų skirtis (Kondroška ir Stankūnas, 2012e).

Organizuojant oro erdvę regiono mastu, formuojant regioninius OEB, gardelės ląstelė turėtų būti ne per daug didelė, kad būtų galima pasiekti tyrimo tiks-

lų. Toliau dalinant suformuotus regioninius OEB į sudėtinius darinius (regiono SVC oro erdves) turėtų būti naudojama mažesnių gabaritų gardelės ląstelė, o vėliau, gautų regiono SVC oro erdvei skaidyti į SV turėtų būti taikoma minimaliai techniškai galima gardelės ląstelė.

Vykdytų tyrimų metu, kurių metu analizuota skrydžių trajektorijų įtaka regiono mastu (Irvine ir Hering, 2007), buvo taikomos 70-ies ir 35-ių jūrmylių gardelės ląstelės. Jei 70-ies jūrmylių gardelės ląstelės tikslumas nėra užtenkamas oro erdvės struktūroms nustatyti, tai 35 jūrmylių gardelės ląstelės tikslumas oro erdvei organizuoti regiono mastu yra priimtinas. Siūloma metodika numato visišką oro erdvės struktūrų vientisumą regioninių OEB, SVC ir SV lygmenimis, todėl visuose trijuose lygiuose naudojamos gardelės turi būti susietos ir, tuo pačiu, užtikrinti reikiamą tikslumą kiekviename oro erdvės organizavimo lygyje.

Nustatant SV gardelės ląstelės dydis turi būti minimalus; o įvertinus tai, kad gardelės ląstelėje skrydžių trukmė, dėl skrydžių informacijos atsinaujinimo laiko, apvalinama minutės tikslumu, ir / arba identifikavus, ar orlaivis skrido per tą gardelės ląstelę, ar ne, SV formuoti tikslinga pasirinkti gardelės ląstelę, kurios kraštinė atitinka vidutinį vienos reaktyvinio orlaivio skrydžio minutės ilgį.

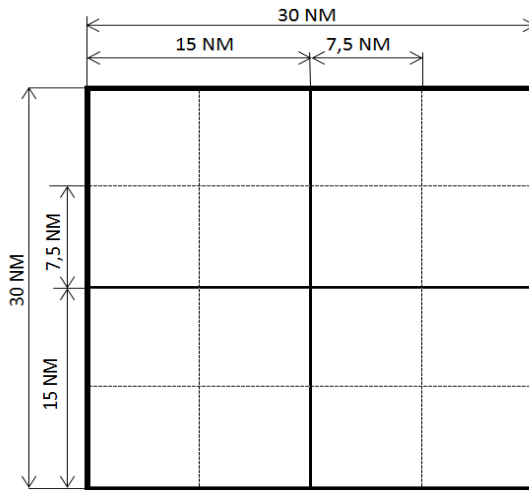
Reaktyvinis orlaivis per minutę kreiseriniame aukštyje vidutiniškai nusikrenda apie 7,5 jūrmylės, todėl modeliuojamo SV gardelės kraštinę tikslinga pasirinkti irgi 7,5 jūrmylių ilgio. Tam, kad gardelės visuose trijuose oro erdvės organizavimo lygiuose būtų galima lengvai susieti, aukštesnio lygio etape gardelės ląstelės kraštinės ilgis turi būti du kartus didesnis už žemesniame oro erdvės organizavimo lygyje naudojamą gardelės ląstelės kraštinės ilgį (Kondroška ir Stankūnas, 2012b).

Taigi pasiūlytiems oro erdvės dalinimo metodo lygmenims būtų tikslinga taikyti tokio dydžio kvadratinę gardelės ląstelę (3.8 pav.):

- nustatant SV sektorius – 7,5 jūrmylių;
- nustatant regiono SVC – 15 jūrmylių;
- formuojant regioninius OEB – 30 jūrmylių.

Tokių dydžių gardelės ląstelės kiekviename siūlomo oro erdvės dalinimo metodo diskretizavimo lygmenyje ne tik sudaro sąlygas reikiamam tikslumui užtikrinti, bet ir lemia nuoseklų ryšį tarp visų oro erdvės elementų – nuo regioninių OEB iki SV sektoriaus.

Be to, tokia naudojama struktūra yra tiksli, ir jai galima taikyti nesudėtingus skaičiavimo metodus (Mondoloni ir Liang, 2001).



3.8 pav. Gardelės naudojimas oro erdvei skaidyti trijuose lygiuose

Fig. 3.8. Grid method for the analysis at three Levels

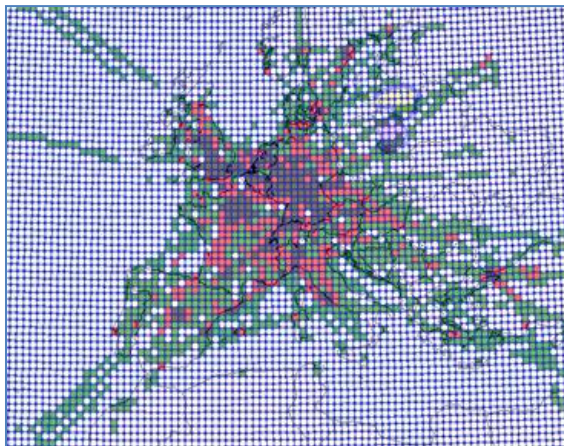
Suformuota gardelė sudaro sąlygas susieti ją su tyrimui pasirinktais skrydžių duomenimis, o vėliau atlikti atitinkamą svorinę šios gardelės ląstelių vertinimą, remiantis jose vykdytų skrydžių skaičiumi.

Tokiu būdu kiekvienai suformuotai tiriamos oro erdvės sluoksnio gardelei priskiriami atitinkami pasirinkti (statistiniai ar sumodeliuoti) skrydžiai. Tai įgalina suformuoti svorinę gardelę, kurios ląstelėse vykdytų skrydžių skaičius apibrėžia skrydžių intensyvumą toje oro erdvės dalyje, kurią gardelės ląstelė apima.

Kaip buvo minėta, nagrinėjant oro erdvę regiono mastu tikslinga vykdyti tyrimą bent jau dviejuose sluoksniuose (žemutinę ir aukštutinę oro erdvę), t. y. svorinę gardelę turėtų būti formuojama ir aukštutinei, ir žemutinei oro erdvei.

Tiriamos oro erdvės sluoksnius diskretizavus naudojant stačiakampę svorinę gardelę gaunama kiekviename šių oro erdvės sluoksnių skrydžius reprezentuojanti svorinė gardelė.

Įvertinus gardelės ląstelių svorį ir jas suklasifikavus toliau, tyrimo metu, reikia naudoti ne trimatę, o dvimatę svorinę kvadratinę gardelę (3.9 pav.), kuri žymiai palengvina tolesnius skaičiavimus ir neturi įtakos rezultatų kokybei ir tikslumui.



3.9 pav. Skrydžių srautų duomenų pagrindu suformuota svarinė gardelė
Fig. 3.9. Grid formed according to flight flow data

Gardelės ląstelės formuojamos taip, kad visų tiriamoje oro erdvėje vertikalioje plokštumoje analizuojamų oro erdvės sluoksnių svarinių gardelės ląstelių šoninių ribų koordinatės sutaptų.

Tai sudaro sąlygas įvertinti kiekviename analizuojamame oro erdvės sluoksnyje atliekamas skrydžių operacijas, nustatyti bendrą visai tiramai oro erdvei, apimančiai visus analizuojamus oro erdvės sluoksnius, svarinę gardelę.

Gardelės ląstelės turės būti grupuojamos į klasterius ar regioninius OEB ir numačius tai, kad gardelės ląstelėse vykdytų skrydžių skaičius gali būti labai skirtingas ir, siekiant palengvinti gardelės ląstelių grupavimo uždavinį, diskretizuotas oro erdvės ląsteles, pagal jose vykdytų skrydžių skaičių, būtų tikslinga suskirstyti į atitinkamas klases.

Pagal įprastinį skrydžių srautų intensyvumo pasiskirstymą, taikomą Europos regione, gardelės ląsteles būtų galima suskirstyti į šešias klases:

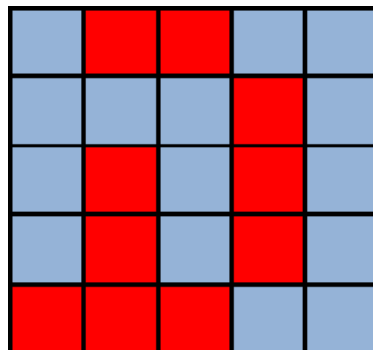
- 1 klasė – nuo 1 iki 5 skrydžių;
- 2 klasė – nuo 5 iki 10 skrydžių;
- 3 klasė – nuo 10 iki 20 skrydžių;
- 4 klasė – nuo 20 iki 50 skrydžių;
- 5 klasė – nuo 50 iki 100 skrydžių;
- 6 klasė – daugiau kaip 100 skrydžių.

Tiriamąjoje erdvėje gardelės ląstelių pasiskirstymo pagal svarines šešias klases nustatant regiono SVC ir SV sektorius pavyzdys pateiktas 3.10 paveiksle.

2	3	2	3	2	3
4	1	2	2	2	1
4	1	1	6	2	1
2	1	5	6	4	2
2	2	5	2	3	2
1	3	3	2	1	1

3.10 pav. Gardelės ląstelių pasiskirstymas į šešias klases

Fig. 3.10. Distribution of grid cells into six classes



3.11 pav. Gardelės ląstelių pasiskirstymas į dvi klases

Fig. 3.11. Distribution of grid cells into two classes

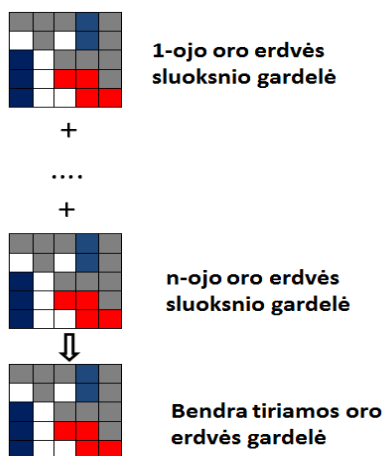
Ląstelės, kuriose skrydžiai nėra vykdomi, taip pat gali sudaryti nemažą dalį. Vienas svarbiausių tikslų nagrinėjant oro erdvę regiono mastu yra toks, kad suformuoti klasteriai atitiktų pagrindinius skrydžių srautus.

Taigi, nagrinėjant oro erdvę regiono mastu reikia nustatyti, ar per gardelės ląstelę vyksta pagrindiniai skrydžių srautai, ar ne. Įvertinus skrydžio fazių ypatumus, gardelės ląstelę būtų tikslinga priskirti pagrindiniams skrydžių srautams ir užtikrinti pakankamą gardelės ląstelių diskretizaciją, kai analizuojamame oro erdvės sluoksnyje suformuotoje gardelės ląstelėje būtų vykdomas maksimalus skrydžių skaičius, t. y. daugiau kaip 100 orlaivių per parą.

Tokiu atveju gardelės ląstelės būtų klasifikuojamos tik pagal tai, ar jos priklauso pagrindiniams skrydžių srautams tiriamoje oro erdvėje, ar ne, t. y. dalinamos į dvi klases (3.11 pav.).

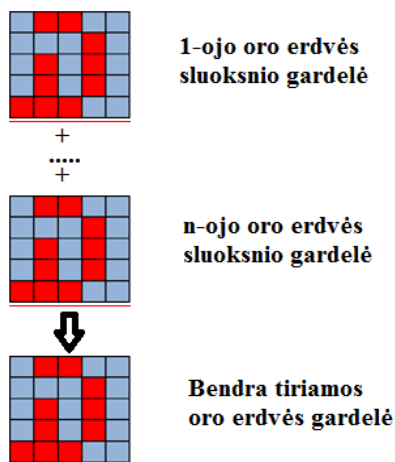
Vienas iš reikalavimų formuojant regioninius OEB yra tai, kad jo aukštutinės ir žemutinės erdvės šoninės ribos sutaptų, todėl reikia sudaryti abiem tiriamos oro erdvės sluoksniams bendrą svorinę gardelę. Bendros svorinės gardelės ląstelės apibrėžia ją sudarančių tiriamos oro erdvės analizuojamų sluoksnių reprezentuojančias gardelės ląsteles.

Gardelės ląstelių šoninės koordinatės sutampa, todėl bendra gardelė atspindi visų sudedamųjų sluoksnių įtaką (Kondroška ir Stankūnas, 2012a). Bendroje gardelėje pagal visus skrydžius ląstelės klasė nustatoma priskiriant jai didžiausią sudarančių sudedamųjų ląstelių klasę (3.12 pav.).



3.12 pav. Tiriamos erdvės bendros gardelės pagal visus skrydžių formavimo schema

Fig. 3.12. Scheme of Common grid forming according to all flights



3.13 pav. Tiriamos erdvės bendros gardelės pagal pagrindinius skrydžių srautus formavimo schema

Fig. 3.13. Scheme of Common grid forming according to main flight flows

Bendroje gardelėje pagal pagrindinius skrydžių srautus, gardelės ląstelė priskiriama pagrindiniams skrydžių srautams, jei nors viename analizuojamame oro erdvės sluoksnyje šią gardelės ląstelę reprezentuojanti ląstelė buvo priskirta tokiems skrydžių srautams, t. y. joje per parą buvo daugiau kaip 100 skrydžių (3.13 pav.). Bendros gardelės formavimas tiriamoje erdvėje iš ją sudarančių oro erdvės sluoksnių vertikalioje plokštumoje sudaro sąlygas įvertinti visas skrydžio fazių ir oro eismo paslaugų teikimo ypatumus ir taip pat leidžia įvertinti oro erdvės sluoksnius, kuriuose smarkiai padidėjęs skrydžių skaičius.

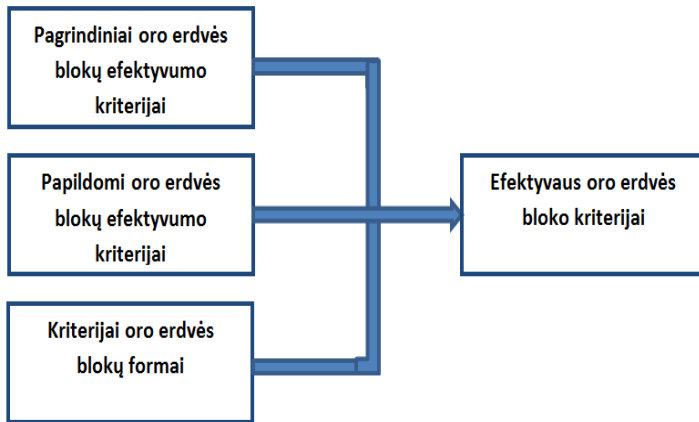
3.5. Regioninių oro erdvės blokų nustatymo kriterijai

Atsižvelgiant į pirmojo skyriaus išvadas, dėl skirtingų regionų OEV sistemų skirtingo efektyvumo galima teigti, kad nustatomas oro erdvės blokas yra efektyvus, jei atitinka 3 pagrindinius principus:

- yra didelio ploto, t. y. oro erdvė apima bent dviejų valstybių oro erdvę (atskiris atvejais, t. y. geografiškai labai didelių valstybių oro erdvėje gali būti formuojamas atskiras ar net keli oro erdvės blokai);
- atitinka pagrindinius skrydžių srautus;
- užtikrina efektyvų oro erdvės panaudojimą.

Be šių išvardintų pagrindinių principų, nagrinėjamoje regiono oro erdvėje formuojamiems regioniniams OEB turėtų būti keliama tam tikri ir skrydžių efektyvumą padedantys užtikrinti kriterijai. Iš dalies šiuos kriterijus galėtume suskirstyti į tris grupes (3.14 pav.):

- pagrindiniai;
- papildomi;
- regioninių OEB formos kriterijai.



3.14 pav. Oro erdvės blokų kriterijai regiono lygiu
Fig. 3.14. Criteria of Airspace blocks at Region level

Remiantis pirmajame skyriuje atliktais skrydžių efektyvumą lemiančiais veiksniais, susijusiais su OEV sistema, pagrindiniai regioninių OEB kriterijai apibrėžia regioninio OEB dydį (teritorijos plotą, virš kurios driekiasi formuojamas regioninis OEB, taip pat regioninio OEB horizontalias ir vertikalias ribas bei pagrindinių skrydžių srautų atitikimą). Pagrindiniai formuojamų regioninių OEB efektyvumo kriterijai:

- atsižvelgus į tai, kad Europos regione, kurio plotas apie 18 mln. NM^2 , formuojamų 9 FAB vertinimas (*Eurocontrol*, 2008) parodė, kad FAB skaičius jau per didelis, ir dėl šių blokų apimamo labai skirtingo teritorijos dydžio (viena iš pagrindinių priežasčių) optimaliam OEV sistemos ir skrydžių efektyvumui regione pasiekti galime daryti prielaidą, kad jei FAB būtų tolygiai pasiskirstę pagal plotą, jie sudarytų geresnes sąlygas efektyvumo kriterijams užtikrinti, ir tokiu atveju formuojant regioninius OEB reikėtų siekti, kad jų teritorijos plotas turėtų būti ne mažesnis kaip 1 mln. NM^2 ;

- tam, kad būtų užtikrinamas skrydžių operacijų ir oro eismo paslaugų vieningumas, oro erdvės vientisumas ir nuoseklumas, formuojami regioniniai OEB turėtų apimti ir viršutinę, ir žemutinę oro erdvę;
- tam, kad būtų išvengta galimų problemų tarp besiribojančių regioninių OEB ir užtikrinant paprastesnį oro navigacijos paslaugų teikimo organizavimą, formuojamų regioninių OEB žemutinės oro erdvės ribos turi sutapti su viršutinės oro erdvės ribomis;
- tam, kad būtų užtikrintas pagrindinių skrydžių srautų tiriamoje oro erdvėje atitikimas, formuojamų regioninių OEB oro erdvė turi būti laisvų skrydžių maršrutų oro erdvės ar tokios erdvės efektyvumo kriterijams artimos oro erdvės pagrindu. Toks neatitikimas neturėtų būti didesnis kaip 3 %.

Be pagrindinių regioninių OEB efektyvumo kriterijų, tam, kad būtų užtikrintas formuojamų regioninių OEB ilgalaikis oro erdvės naudotojų lūkesčių patenkinimas, formuojant OEB reikėtų atsižvelgti į papildomus efektyvumo kriterijus:

- karinės zonos ir tarptautiniai oro uostai turi turėti reikiamą buferinę zoną nuo formuojamų regioninių OEB ribos. Įvertinus saugą lemiančius veiksnius, minimalus tokios buferinės zonos plotis turėtų būti ne mažiau kaip 30 jūrmylių.

Taigi, papildomi regioninių OEB efektyvumo kriterijai ir formuojamų OEB vieningumo principas, įgalinantis taikyti tuos pačius vertinimo kriterijus visiems suformuotiems regioniniams OEB, negali būti užtikrintas be tam tikrų OEB formos ir jų tarpusavio pusiausvyros reikalavimų pagal apimamą teritoriją. Formuojamų regioninių OEB formai turėtų būti taikomi šie kriterijai:

- regioninis OEB turi būti vientisas ir nuoseklus;
- formuojamų regioninių OEB užimamos teritorijos skirtumas – tiriamoje oro erdvėje suformuoti regioniniai OEB pagal užimamą plotą (didžiausias OEB nuo mažiausio OEB) neturi skirtis daugiau kaip 2 kartus;
- oro erdvės blokų aukštesnės oro erdvės šoninės ribos turi sutapti su šių blokų žemutinės oro erdvės šoninėmis ribomis, tuo užtikrinant regioninių OEB oro erdvės vientisumą ir nuoseklumą;
- nė vienas regioninis OEB negali supti kito regioninio OEB;
- regioniniai OEB turi užtikrinti vientisumo sąlygą;
- regioniniai OEB turi būti maksimaliai koncentruoti, be išėjusių siaurų ilgų atšakų.

Išskyrus tam tikras išimtis, susijusias su didelę teritoriją turinčiomis valstybėmis, efektyvų regioninį OEB galėtume apibūdinti kaip kelių valstybių oro erdvę ar jos dalis, apimančią laisvų maršrutų ar jai artimą oro erdvę, suformuotą pagal vyraujančius skrydžių srautus ir jų dinamiką regione ir atitinkančią nustatytus efektyvumo ir formos kriterijus.

Regiono oro erdvės organizavimas nuo oro erdvės organizavimo vietiniu lygiu skiriasi tuo, kad oro erdvės organizavimą vietiniu lygiu apibrėžia kiti kriterijai nei pirmuoju atveju. Vietiniu lygiu oro erdvės organizavimą apibrėžia šie kriterijai:

- nustatomo regiono SVC – pagrindinių srautų atitikimas regioniniame OEB ir pralaidumas, kurį lemia SV sektorių skaičius ir išsidėstymas,
- SV sektorių – pagrindinių skrydžių srautų atitikimas regiono SVC ir pralaidumas, kuris lemiamas leistino skrydžių vadovo darbo krūvio SV sektoriuje.

Be abejo, oro erdvės organizavimą visuose lygiuose veikia pagrindinių oro uostų bei karinių zonų išsidėstymas, reikiamos buferinės zonos saugai ir efektyvioms skrydžių operacijoms užtikrinti ir, aišku, regioninio OEB, regiono SVC ir SV forma.

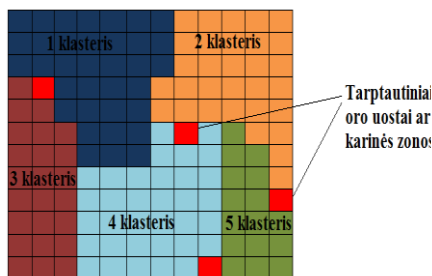
3.6. Klasterizacijos taikymas

Gauta visiems analizuojamiems tiriamos oro erdvės sluoksniams bendra stačiakampė svorinė gardelė įgalina įvertinti šiuose oro erdvės sluoksniuose vykdomų skrydžių operacijų ypatumus ir sudaro sąlygas grupuoti gardelės ląstelės į tam tikrą sekų skaičių pagal tyrimo tikslą atitinkančius reikalavimus. Šios sekos ir bus formuojamų regioninių OEB pagrindas.

Panašius objektus į atitinkamas kategorijas grupuoja klasterinė analizė. Siekiant konkrečių tyrimo tikslų, turi būti numatyta, kaip turimi ar tyrimo metu gauti duomenys bus suskirstyti į prasmingus junginius. Taigi, pagrindinis klasterinės analizės tikslas – skirtingų objektų skirstymas į grupes (klasterius) pagal maksimalų jų panašumą ir skirtumus nuo kitų grupių.

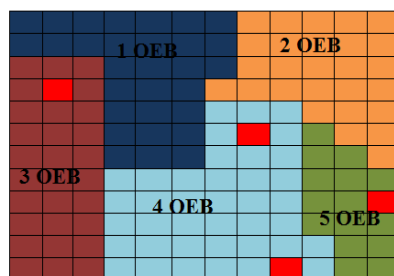
Remiantis antrojo skyriaus išvadomis, panaudojus stačiakampę gardelę suskaidytas tiriamos oro erdvės ląstelės siūloma grupuoti pagal klasterizacijos metodus, t. y. hierarchinius klasterizacijos metodus, taikant atitinkamus apribojimus, kuriuos lemia formuojamų regioninių OEB efektyvumo kriterijai.

Formuojant regioninius OEB, sudarius klasterius reikia įsitikinti ir, jei reikia, patikslinti jų šonines ribas, kad pagrindiniai tarptautiniai oro uostai ir karinės zonos turėtų reikiamas buferines zonas. Todėl pagrindinių tarptautinių oro uostų vietovių ir karinių zonų žemėlapis sujungiamas su sudarytų klasterių žemėlapiu (3.15 pav.) ir atliekamos atitinkamos korekcijos, užtikrinančios regioninių OEB efektyvumo kriterijų atitikimą.



3.15 pav. Bendro sudarytų klasterių ir spec. zonų žemėlapis

Fig. 3.15. Common Map of Clusters and special Areas



3.16 pav. Suformuotų oro erdvės blokų pavyzdys

Fig. 3.16. Formed Airspace Blocks

Pakoregavus klasterių šonines ribas ir įvertinus pagrindinių tarptautinių oro uostų ir karinių zonų klasterių susikirtimo ribų zonas, gaunami regioniniai OEB, atitinkantys 3.1. poskyryje nurodytus regioninių OEB efektyvumo kriterijus (3.16 pav.).

Sudaryti regioniniai OEB vertinami, kaip atitinka 3.1. poskyryje nustatytus efektyvumo kriterijus. Jei suformuotų regioninių OEB rezultatai netenkina, tikslinamas gardelės ląstelių klasifikacijos etapas.

Galutinė oro erdvės struktūra, apimanti visą oro erdvę, turi būti papildomai išbandoma sudarant sąlygas artimas realioms, ir patvirtinama tik atlikus reikiamas korekcijas, susijusias su oro eismo paslaugų teikimo ypatumais.

3.7. Trečiojo skyriaus išvados

Šiame skyriuje pasiūlyta regioninių oro erdvės blokų formavimo metodika, kurioje:

1. Nustatomi trijų lygių efektyvumo kriterijai formuojamiems regioniniams OEB (pagrindiniai, papildomi ir OEB formos kriterijai). Jei regioninis OEB atitinka šiuos kriterijus, sudaromos sąlygos efektyvesnei OEB sistemos veiklai ir efektyvesniems skrydžiams.
2. Siūloma taikyti vieningą oro erdvės struktūros organizavimo principą, kad pirmiausia regiono oro erdvėje turėtų būti suformuojami regioniniai OEB, kurie vėliau būtų dalinami į regiono SVC ir SV sektorius, tuo užtikrinant visos oro erdvės bei vykdomų skrydžių fazių vientisumą.
3. Siūloma tyrimui naudojamus skrydžių duomenis patikslinti pritaikius jiems laisvų skrydžių oro erdvės koncepciją, jei tiriamame regione vidu-

tinis skirtumas tarp vykdomų skrydžių horizontalių trajektorijų ir optimalių horizontalių šių skrydžių trajektorijų yra daugiau kaip 3 %.

4. Tiriama oro erdvei diskretizuoti ir tyrime naudojamiems skrydžiams jai priskirti siūloma taikyti nepriklausomo nuo oro kelių tinklo svorinių gardelių tyrimo metodą. Siūlomoje metodikoje taip pat numatomas gardelės ląstelių skirstymas į atitinkamas svorines klases ir siūloma regioniniams OEB ir regiono SVC bei SV sektoriams taikyti ne tik skirtingo dydžio gardelės ląsteles, bet ir skirtingai skirstyti į svorines klases.
5. Siūloma regioninius OEB formuoti iš gardelės ląstelių taikyti hierarchinius klasterizacijos metodus su atitinkamais apribojimais, kurių pagrindą sudaro regioninių OEB efektyvumo kriterijai.
6. Tyrimo metu buvo nustatyta, kad taikant šią metodiką būtų ne tik užtikrinamas oro erdvės struktūros vientisumas, bet ir atitinkamų sąlygų skrydžių efektyvumui didinti sudarymas.

Regioninių oro erdvės blokų formavimo Europos regione tyrimas

Šiame skyriuje pateikiamas regiono oro erdvės organizavimo pagrindinių skrydžių srautų pagrindų metodikos taikymo eksperimentinis tyrimas.

Eksperimentams atlikti pasirenkama Europos regiono oro erdvė, kurioje šiuo metu yra diejami FAB.

Metodikai patikrinti buvo taikomi realių skrydžių duomenys ir trečiajame skyriuje pateikti regioninių OEB formavimo apribojimai.

Eksperimentui atlikti buvo sukurtas tiriamos erdvės modelis, kuris buvo diskretizuotas į sudėtinės dalis kaip struktūrinė kvadratinė gardelė. Remiantis trečiajame skyriuje pateikta metodika, oro erdvė buvo analizuojama nustatytuose sluoksniuose ir pagal šios analizės rezultatus tiriamoje erdvėje buvo suformuotas nuo 2 iki 9 regioninių OEB bei nustatytas optimalus regioninių OEB skaičius ir konfigūracija.

Šio skyriaus medžiaga aprobuota 15-sios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ 2012 m. teminėje konferencijoje „Aviacijos technologijos“ ir Respublikinėje konferencijoje „Aviacija 2012“ bei publikuota žurnale „Transport“ (Kondroška ir Stankūnas, 2012a) ir „Aviation“ (Stankūnas ir Kondroška, 2012b).

4.1. Tiriamos oro erdvės formavimas

Siekiant įvertinti, kaip trečiojoje dalyje siūloma regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodika yra pritaikoma suformuoti optimaliam regioninių OEB skaičiui realaus regiono oro erdvėje bei taikant realių skrydžių duomenis, eksperimentui buvo pasirinkta Europos regiono oro erdvė, kurioje įgyvendinant SES koncepciją šiuo metu diegiami FAB. Nežiūrint į tai, kad diegiamiems FAB jau nustatyti keli veiklos efektyvumo reikalavimai, jų konfigūraciją lemia politiniai valstybių sprendimai, t. y. valstybės jungiasi į FAB, dažniausiai ne dėl optimalaus sprendimo, bet atsižvelgdamos į nacionalinius prioritetus. Būtent tai yra viena pagrindinių priežasčių, kad tarp FAB iniciatyvų ar jau sukurtų FAB nėra nė vieno, kur vienos valstybės dalis teritorijos būtų įtraukta į vieną, o kita dalis į kitą FAB ir tuo geriau būtų įgyvendintas pagrindiniams skrydžių srautų regione atitikimas.

Taikant trečiojoje dalyje siūlomą metodiką Europos regiono oro erdvėje bus formuojami regioniniai OEB pagal pagrindinius skrydžių srautus neatsižvelgiant į valstybių sienų konfigūraciją. Be to, tokiu būdu suformuotų regioninių OEB konfigūracija bus palyginama su diegiamomis FAB iniciatyvomis.

Remiantis metodika, pirmiausia apibrėžiama dėl tiriamo objekto (oro erdvės) horizontalių ir vertikalinių ribų bei sudaromas tiriamos oro erdvės modelis.

Atsižvelgiant į Europos regiono, dalyvaujančio FAB, formavimo geografinę sudėtį, mūsų oro erdvės modelis horizontalioje plokštumoje apims šių šalių skrydžių informacijos regionus (SIR): Airijos, Albanijos, Austrijos, Belgijos, Bosnijos ir Hercegovinos, Bulgarijos, Čekijos, Danijos, Didžiosios Britanijos, Egipto, Estijos, Italijos, Graikijos, Islandijos, Ispanijos, Kipro, Kroatijos, Latvijos, Lenkijos, Lietuvos, Makedonijos, Maltos, Norvegijos, Olandijos, Portugalijos, Prancūzijos, Rumunijos, Serbijos, Slovakijos, Slovėnijos, Suomijos, Švedijos, Šveicarijos, Tuniso, Vengrijos, Vokietijos. Šių SIR analizuojamos oro erdvės plotas yra 8112247,6 kv. jūrmylių (4.1 pav.).

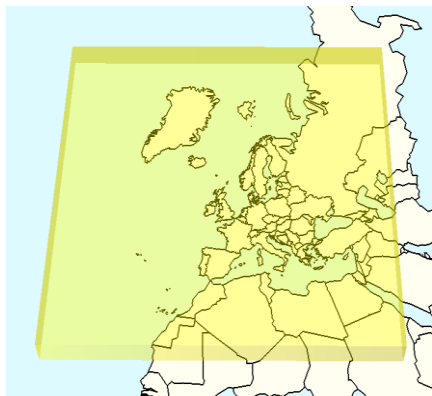
Įvertinant tai, kad oro navigacijos paslaugos Europos regione yra teikiamos iki 660 skrydžių lygio ir, kad pagal bendro Europos dangaus koncepciją formuojami FAB turėtų apimti visą OEV sistemos apimamą oro erdvę, vertikalios sudaromo oro erdvės modelio ribos yra nuo žemės paviršiaus iki 660 skrydžių lygio.

Remiantis trečios dalies išvadomis, pirmiausia horizontalioje plokštumoje yra suformuojamas trimatis stačiakampio gretasienio formos regionas, apimantis visą tiriamą oro erdvę. Vertikalioje plokštumoje jis apima visa valdomą oro erdvę nuo žemės paviršiaus iki 660 skrydžių lygio.

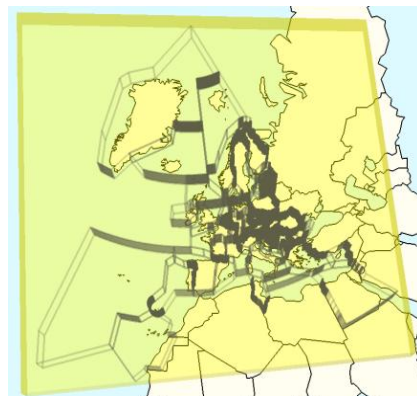


4.1 pav. Tiriama oro erdvė
Fig. 4.1. Analysed Airspace

Tiriama Europos regiono oro erdvės atveju, horizontalioje plokštumoje formuojamo stačiakampio regiono centrinio taško koordinatės yra: 51°00' šiaurės platumos ir 0°00' vakarų ilgumos, o šio regiono kraštinės yra: šiaurės-pietų kryptimi - 4400 jūmylių ir rytų-vakarų kryptimi – 4200 jūmylių ilgio.



4.2 pav. Trimatis formuojamas stačiakampis skaičiuojamasis regionas
Fig. 4.2. 3D calculating square region

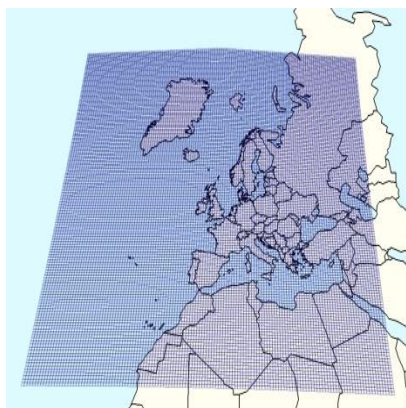


4.3 pav. Skaičiuojamasis regionas ir tiriama oro erdvė
Fig. 4.3. Calculating region and analysed Airspace

Šioje stačiakampio gretasienio formos oro erdvėje (4.2 pav.) yra suformuojama kvadratinė gardelė. Stačiakampio formos skaičiuojamasis regionas yra pasirenkamas tik gardelės formavimo procesui palengvinti, tyrimui bus naudojama jo dalis, apimanti nagrinėjamą oro erdvę (4.3 pav.).

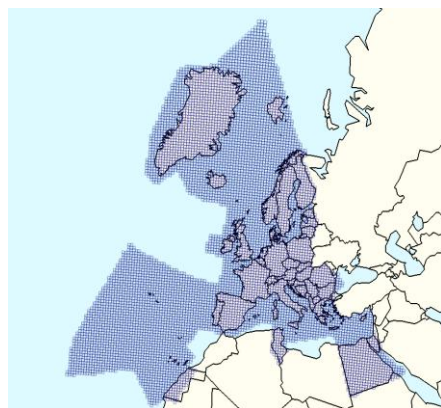
Remiantis pirmojo ir antrojo skyrių išvadomis, dėl naudojamos struktūrizuotos kvadratinės gardelės oro erdvės struktūroms nustatyti tikslingumo ir trečiojo skyriaus trečiojoje dalyje pateikiamos medžiagos dėl šios gardelės matmenų regiono oro erdvei organizuoti, suformuotame stačiakampio formos skaičiuojamame regione yra formuojama dvimatė struktūrinė kvadratinė 30 x 30 jūrmylių kvadratinė gardelė.

Gardelės formavimas atliekamas 2 dalyje pateikto algebrinio gardelės formavimo metodo pagrindu (formulės 2.6–2.12).



4.4 pav. Dvimatė kvadratinė gardelė formuojame stačiakampiame regione

Fig. 4.4. 2D square grid in square calculating region



4.5 pav. Dvimatė kvadratinė gardelė tiriamoje oro erdvėje

Fig. 4.5. 2D square grid in the analysed Airspace

Tyrime naudojamame stačiakampio formos skaičiuojamame regione, kuriame yra formuojama struktūrinė kvadratinė 30x30 jūrmylių gardelė buvo sudarytos gardelės ląstelės. Nors tyrime naudojamame skaičiuojamame regione buvo sudarytos 20440 ląstelės (4.4 pav.), tiriama oro erdvė užima tik dalį šio regiono ir ją sudaro 7377 gardelės ląstelės (4.5 pav.).

Bendras nagrinėjamos oro erdvės regiono plotas sudaro – 18,48 mln. kv. jūrmylių.

Būtent tiriamoje oro erdvėje suformuotų stačiakampių gardelės ląstelių pagalba bus įvertintas skrydžių skaičius kiekvienoje iš jų ir remiantis tuo vienos jų bus priskiriamos pagrindiniams srautams, o kitos ne.

4.2. Analizuojamų duomenų parinkimas ir oro erdvės tyrimas

Pagal trečiojoje dalyje pateiktą metodiką, jei regione, kuriame vykdomas oro erdvės tyrimas, vidutinis skirtumas tarp vykdomų skrydžių horizontalių trajektorijų ir optimalių horizontalių šių skrydžių trajektorijų yra didesnis kaip 3 %, siekiant tikslesnių oro erdvės organizavimo tyrimo rezultatų tikslinga tyrimui naudojamus skrydžių duomenis patikslinti, pritaikant juos laisvų skrydžių koncepcijos oro erdvei. Remiantis *Eurocontrol* duomenimis, Europos regione šis skirtumas vidutiniškai yra virš 4 %.

Taigi, papildomos korekcijos, susijusios su skrydžių duomenų pritaikymo laisvų skrydžių koncepcijai tiriamame regione, yra tikslingos. Tokiu būdu, tyrimo metu buvo naudojami statistiniai realių skrydžių duomenys, kurių skrydžio maršrutai buvo pakoreguoti pritaikant jiems laisvų skrydžių koncepciją.

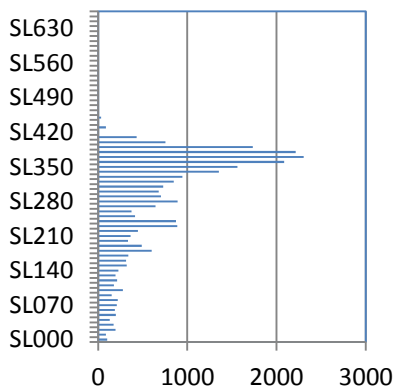
Transporto veiklos vertinimui naudojami veiksniai turėtų būti vertinami ne kaip nustatyti, bet kaip atsitiktiniai (Baublys, 2002), taigi oro erdvės analizei imami skrydžių duomenys turi eliminuoti bent jau galimus sezoniškumo ir kitus veiksnius. Transporto srityje ir ypač aviacijoje parenkant tyrimui taikomus duomenis svarbu, kad šie būtų aktualūs, t. y. būtų pakankamai nauji ir atspindėtų galimus skrydžių srautų pokyčius, susijusius su sezoniškumu.

Atsižvelgiant į prieš tai išvardintus argumentus ir metodikoje siūlomą realių, o ne planuotų skrydžių duomenų taikymą, tiriamos erdvės modelio analizei bus naudojami 2011 m. duomenys. Tam, kad būtų įvertinti galimi pagrindinių skrydžių srautų pokyčiai, susiję su sezoniškumu, tyrimui buvo parinkti kiekvieno metų sezono vidurinio mėnesio pačios intensyviausios paros skrydžių duomenys.

Erdvės modelio analizei buvo naudojami šių parų duomenys:

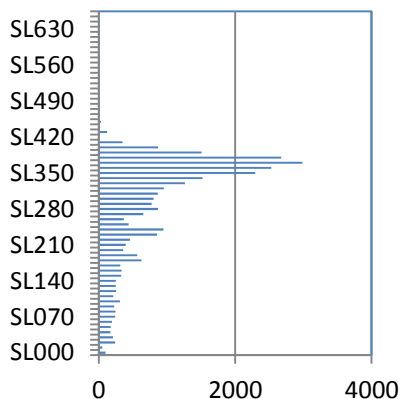
- 2011 m. sausio 28 d. – 26 568 skrydžių;
- 2011 m. balandžio 15 d. – 30 285 skrydžių;
- 2011 m. liepos 1 d. – 33 617 skrydžių;
- 2011 m. spalio 14 d. – 30 822 skrydžių.

Be to, šie realių skrydžių duomenys (visų skrydžių maršrutai) buvo pakoreguoti pritaikant jiems laisvų skrydžių koncepciją. Toks tyrimo duomenų pasirinkimas ne tik užtikrina sezoniškumo įtakos įvertinimą tyrimo eigoje ir įvertina skrydžių srautus dienos ir nakties periodu, bet ir sudaro sąlygas efektyvesniems skrydžių maršrutams, tuo mažinant oro erdvės naudotojų kaštus, degalų sunaudojimą ir taršą.



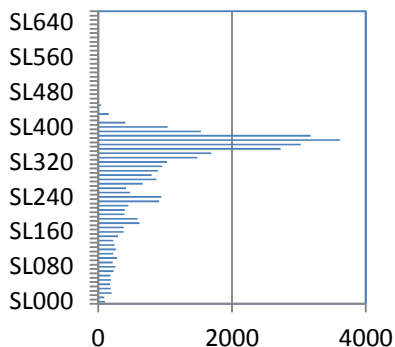
4.6 pav. Skrydžių pasiskirstymas
2011-01-28.

Fig. 4.6. Flight distribution on
2011.01.28.



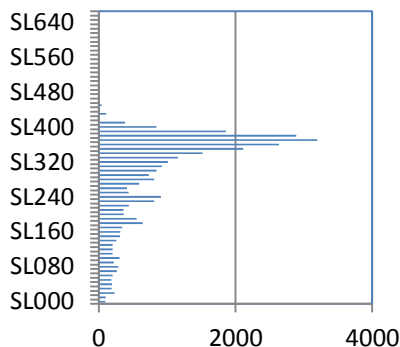
4.7 pav. Skrydžių pasiskirstymas
2011-04-15.

Fig. 4.7. Flight distribution on
2011.04.15.



4.8 pav. Skrydžių pasiskirstymas
2011-07-01.

Fig. 4.8. Flight distribution on
2011.07.01.



4.9 pav. Skrydžių pasiskirstymas
2011-10-14.

Fig. 4.9. Flight distribution on
2011.10.14.

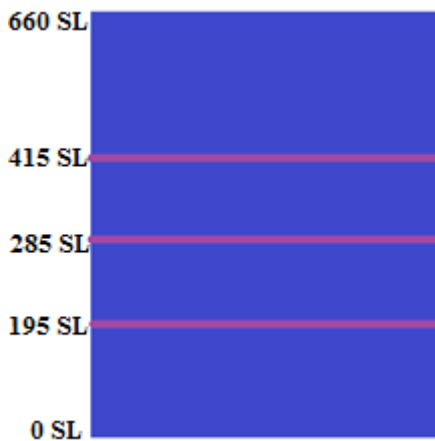
Siekiant nustatyti, keliuose sluoksniuose vertikalioje plokštumoje būtų tikslinga nagrinėti tiriamą oro erdvę pritaikius trečiojoje disertacijos dalyje pateiktą siūlymą, oro erdvės tyrimo metu vertikalioje plokštumoje nagrinėjamus sluoksnius parinkti taip, kad jie įvertintų ir skrydžio fazes (aukštėjimą iš išskridimo oro uosto, skrydį kreiseriniame SL ir žemėjimą paskirties oro uoste) bei skrydžių

kiekio ženklus pokyčius, yra atliekamas tyrime taikomų skrydžių duomenų įvertinimas pagal skrydžių pasiskirstymą vertikalioje plokštumoje (4.6 – 4.9 pav.).

Įvertinus tyrime naudojamus skrydžių duomenis, nustatyta, kad tam, jog būtų įvertintos pagrindinės skrydžių fazės ir skrydžių pasiskirstymas vertikalioje plokštumoje, tiriamos oro erdvės modelį tikslinga analizuoti keturiuose sluoksniuose:

- nuo žemės paviršiaus iki 195 SL;
- nuo 195 iki 285 SL;
- nuo 285 iki 415 SL;
- nuo 415 iki 660 SL.

Remiantis trečioje dalyje pateikta metodika, tiriamas oro erdvės modelis yra analizuojamas naudojant pasirinktus skrydžių duomenis keturiems oro erdvės sluoksniams (4.10 pav.). Tuo tikslu, svorinė gardelė yra formuojama kiekvienam iš šių oro erdvės sluoksnių, o gautų svorinių gardelių pagrindu yra formuojama bendra svorinė gardelė visai tiriamai oro erdvei.



4.10 pav. Oro erdvės sluoksniai, kuriuose analizuojama tiriamą oro erdvę

Fig. 4.10. Layers of the analysed airspace

Formuojant svorinę gardelę, jos ląstelėms priskiriami tyrime naudojami skrydžių duomenys. Tikėtina, kad gardelės ląstelių svoriai bus pasiskirstę labai įvairiai, todėl, remiantis metodika ir atsižvelgiant į dažnai Eurokontrolės taikomą skrydžių intensyvumo pagal skrydžius klasifikaciją, svorinės gardelės ląstelės yra klasifikuojamos.

Gardelės ląstelę aprašanti pagrindinė informacija apima gardelės viršūnių koordinates, vertikalias ribas, skrydžių intensyvumą joje bei gardelės ląstelės numerį (F priedas).

Remiantis siūloma metodika gardelės ląstelės klasifikuojamos į šešias klases. Atsižvelgiant į tai, jog klasterių sudarymo pagrindas yra pagrindiniai skrydžių srautai, tai, remiantis 3 dalies išvadomis, geresniam pagrindinių srautų vaizdavimui, gardelės ląsteles tikslinga grupuoti taip pat į dvi klases: priklausančias pagrindiniams skrydžių srautams ir nepriklausančias. Disertacijos trečiojoje dalyje pagrindiniams srautams siūloma priskirti ląsteles, kuriose buvo vykdyta 100 arba daugiau skrydžių.

Tam, kad būtų galima vizualiai stebėti gardelės ląstelių susiskirstymą pagal intensyvumą į formuojamas klases, tyrimo metu kiekviena šių klasių buvo žymima skirtinga spalva:

- 1 klasė – gardelės ląstelės, kuriose vyko nuo 0 iki 100 skrydžių (raudona spalva);
- 2 klasė – gardelės ląstelės, kuriose vyko 100 ir daugiau skrydžių (mėlyna spalva).

Kiekvienu iš tyrimui taikomų skrydžių duomenų atveju, tiriamoje oro erdvėje vertikalioje plokštumoje kiekvienam iš nustatytų keturių oro erdvės sluoksnių yra sudaroma svorinė gardelė. Šių gardelių pagrindu sudaroma bendra visam tiriamam oro erdvės modeliui svorinė gardelė, kuria remiantis ir yra formuojami regioniniai OEB.

4.2.1. Svorinės gardelės nuo žemės iki 195 SL formavimas

Šis oro erdvės sluoksnis išsiskiria tuo, kad jame dažniausiai vykdoma pirminė oro linijų orlaivių aukštėjimo ir galutinė orlaivių žemėjimo fazė. Taip pat šiame oro erdvės sluoksnyje atliekama didžioji dalis bendrosios aviacijos skrydžių ir yra išsidėsčiusius įvairiai aviacijos veiklai skirtos oro erdvės zonos.

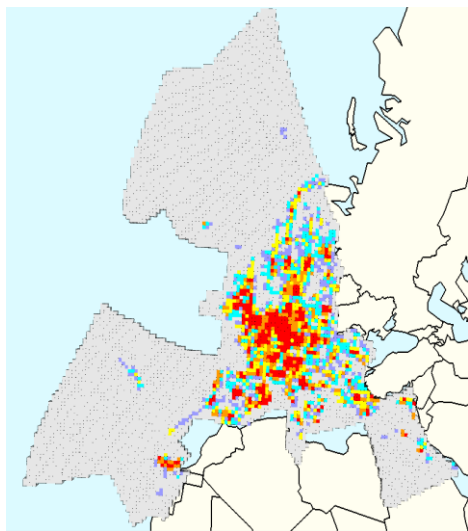
Paprastai skrydžių intensyvumas šiame oro erdvės sluoksnyje nėra didelis, tai rodo ir tyrimui naudojamų skrydžių duomenų analizė (4.6–4.9 pav.), tačiau šiame oro erdvės sluoksnyje vykdomos skrydžių fazės yra ne mažiau svarbios skrydžių saugos, skrydžių operacijų ir OEV sistemos veiklos efektyvumo atžvilgiu.

Pagal tyrimui naudojamų skrydžių duomenis gautas svorinės gardelės tiriamos oro erdvės sluoksniui nuo žemės paviršiaus iki 195 SL (A priedas), matyti, kad gardelės ląstelių skaičius, kuriose buvo vykdomi skrydžiai, dėl prieš tai minimų priežasčių, nėra didelis.

Tuo pačiu ir ląstelių, priskirtinų pagrindiniams skrydžių srautams, nėra daug. Iš suformuotų svorinių gardelių matyti, kad intensyviausi skrydžiai šiame oro erdvės sluoksnyje vykdomi centrinėje tiriamo regiono dalyje. O tiriamos oro

erdvės kraštuose vyrauja ląstelės, kuriose skrydžių visai nėra arba jų skaičius labai mažas.

Įvertinus pagrindinių Europos regiono pagrindinių oro uostų išsidėstymą ir gautą gardelės ląstelių pasiskirstymą galima teigti, kad skrydžių operacijos šiame oro erdvės sluoksnyje dažniausiai atliekamos pagrindinių oro uostų prieigose.



4.11 pav. Bendra svorinė gardelė pagal šešias ląstelių klases oro erdvės sluoksniui nuo 0 iki 195 SL

Fig. 4.11. Joint weighted grid according to six classes for airspace layer from 0 up to FL 195

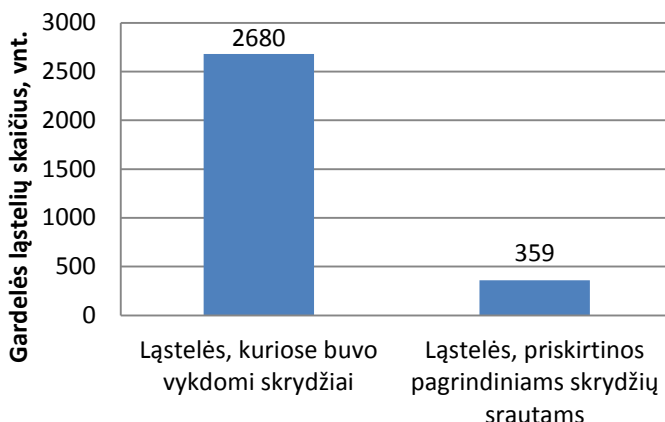


4.12 pav. Bendra svorinė gardelė pagal pagrindinius skrydžių srautus oro erdvės sluoksniui nuo 0 iki 195 SL

Fig. 4.12. Joint weighted grid according to the main traffic flows for airspace layer from 0 up to FL 195

Be to, pagal tyrimui naudojamų skirtingų dienų skrydžių duomenis, gardelės ląstelių, kuriose buvo vykdyti skrydžiai, skaičiaus svyravimai yra nedideli ir tarp mažiausio ir didžiausio skaičiaus sudaro tik mažiau kaip 6 %, o gardelės ląstelių, priskirtinų pagrindiniams skrydžių srautams, skaičiaus svyravimas tarp mažiausio ir didžiausio skaičiaus yra didesnis ir sudaro daugiau kaip 29 %.

Šio oro erdvės sluoksnio tyrimo rezultatai rodo, kad išsiskiria vasaros periodo duomenys, kai ląstelių, priskirtinų pagrindiniams skrydžių srautams, skaičius smarkiai išauga, o žiemos periodu (A priedas), jis yra mažiausias.



4.13 pav. Bendros oro erdvės sluoksniui nuo 0 iki 195 SL svorinės gardelės ląstelių pasiskirstymas

Fig. 4.13 Distribution of joint weighted grid cells for airspace layer from 0 up to FL195

Atsižvelgiant į skrydžio fazių pobūdį ir pagrindinę šių fazių atlikimo vietą (šalia oro uostų) (4.11–4.12 pav.), šiame oro erdvės sluoksnyje suformuotos svorinės gardelės ląstelės pagal vykdytus skrydžius pasiskirstė gana netolygiai ir didžiausią dalį užima gardelės ląstelės, kuriose nebuvo vykdomi skrydžiai. Tai pasakytina ir apie gardelės ląsteles, priskirtinas pagrindiniams skrydžių srautams (4.13 pav.).

4.2.2. Svorinės gardelės nuo 195 iki 285 SL formavimas

Šiame tiriamos oro erdvės sluoksnyje dažniausiai atliekama daugumos reaktyvinių orlaivių baigiamoji aukštėjimo ir pradinė žemėjimo skrydžių fazė. Taip pat jame vykdomi daugumos propelerinių orlaivių tranzitiniai skrydžiai.

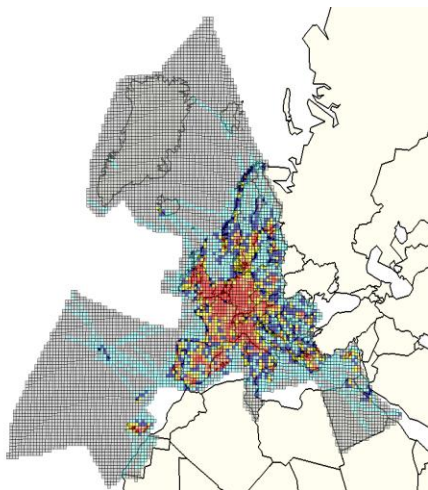
Suo metu kuriamų naujų technologijų, užtikrinančių optimalias skrydžių trajektorijas apie oro uostus, taikymas numato, kad artėjimui skirtos zonos bus plečiamos, todėl, didėjant skrydžių skaičiui, šiame sluoksnyje vykdomų operacijų laikas ilgės.

Pagal tyrimui naudojamų skrydžių duomenis gautas svorines gardeles tiriamos oro erdvės sluoksniui nuo 195 SL iki 285 SL (B priedas) matomi intensyviausi skrydžiai šiame oro erdvės sluoksnyje, vykdomi centrinėje dalyje, kur sukoncentruoti pagrindiniai regiono oro uostai.

Kaip ir analizuojant pirmąjį oro erdvės sluoksnį, gardelės ląstelių, kuriose buvo vykdomi skrydžiai, skaičius nėra didelis, ir ląstelių, priskirtinų pagrindiniams skrydžių srautams, nėra daug.

Analizė parodė, kad šiame oro erdvės sluoksnyje gardelės ląstelių, kuriose buvo vykdyti skrydžiai, skaičiaus svyravimai irgi yra nedideli ir tarp mažiausio ir didžiausio skaičiaus sudaro tik daugiau kaip 7 %, o gardelės ląstelių, priskirtinų pagrindiniams skrydžių srautams, skaičiaus svyravimas tarp mažiausio ir didžiausio skaičiaus yra didesnis ir sudaro daugiau kaip 35 %.

Toks intensyviausių gardelės ląstelių pasiskirstymas nulemtas didelės intensyvių oro uostų koncentracijos šiame regione ir didelio skaičiaus skrydžių, vykdomų tarp šių oro uostų (4.14–4.15 pav.).



4.14 pav. Bendra svorinė gardelė pagal šešias ląstelių klases oro erdvės sluoksniui nuo 195 iki 285 SL

Fig. 4.14. Joint weighted grid according to six classes for airspace layer from 195 up to FL 285

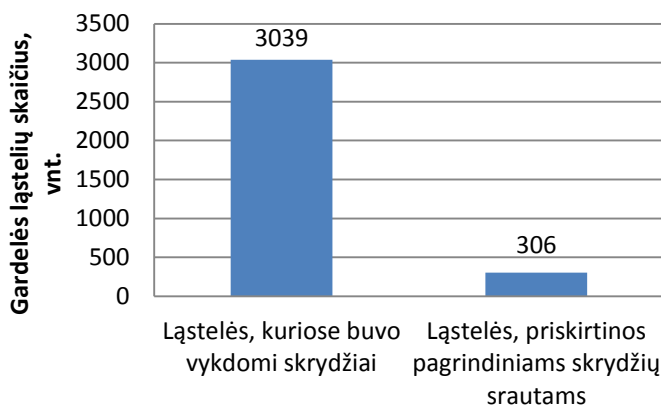


4.15 pav. Bendra svorinė gardelė pagal pagrindinius skrydžių srautus oro erdvės sluoksniui nuo 195 iki 285 SL

Fig. 4.15. Joint weighted grid according to the main traffic flows for airspace layer from 195 up to FL 285

Kaip ir pirmajame oro erdvės sluoksnyje, išsiskiria vasaros periodo duomenys, kai ląstelių, priskirtinų pagrindiniams skrydžių srautams, skaičius žymiai išauga, o žiemos periodu jis yra mažiausias.

Taip pat pažymėtina, kad dėl atliekamų skrydžių fazių skirtumų, šiame oro erdvės sluoksnyje gardelės ląstelių, kuriose buvo vykdyti skrydžiai, skaičius yra didesnis nei nagrinėtame pirmajame oro erdvės sluoksnyje.



4.16 pav. Bendros oro erdvės sluoksniui nuo 195 iki 285 SL svorinės gardelės ląstelių pasiskirstymas

Fig. 4.16. Distribution of joint weighted grid cells for airspace layer from 195 up to FL285

Atsižvelgiant į skrydžio fazių pobūdį ir pagrindinę šių fazių atlikimo vietą (šalia oro uostų), šiame oro erdvės sluoksnyje suformuotos svorinės gardelės ląstelės pagal vykdytus skrydžius pasiskirstė gana netolygiai: ląstelės, kuriose buvo vykdyti skrydžiai – tiriamojo regiono centrinėje ir rytinėje dalyje, gardelės ląstelės, priskirtinos pagrindiniams skrydžių srautams – pagrindinių tiriamo regiono teritorijoje esančių oro uostų prieigose (4.16 pav.).

4.2.3. Svorinė gardelės nuo 285 iki 415 SL formavimas

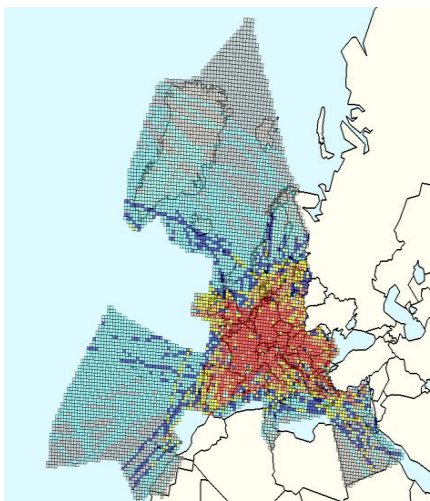
Šis tiriamos oro erdvės sluoksnis yra daugumos reaktyvinių orlaivių kreiseriniame aukštyje, todėl jį galima priskirti prie skrydžių kreiseriniame aukštyje fazės. Šiame oro erdvės sluoksnyje nemažą dalį sudaro ir orlaiviai ne tik pakilę ar ketinantys tūpti nagrinėjamo regiono ribose, bet ir orlaiviai, skrendantys per šį regioną tranzitu.

Pagal tyrimui naudojamų skrydžių duomenis, gautas svorines gardeles tiriamos oro erdvės sluoksniui nuo 285 SL iki 415 SL (C priedas), matyti intensyviausi skrydžiai šiame oro erdvės sluoksnyje buvo vykdomi virš vakarų ir centrinės Europos.

Šiame oro erdvės sluoksnyje gardelės ląstelių, kuriose buvo vykdomi skrydžiai, skaičius yra kelis kartus didesnis negu prieš tai nagrinėtais atvejais. Ta pati tendencija išlieka ir ląstelių, priskirtinų pagrindiniams skrydžių srautams, atveju – jų skaičius yra apie tris kartus didesnis nei prieš tai nagrinėtais atvejais.

Šiame oro erdvės sluoksnyje gatelės ląstelių, kuriose buvo vykdyti skrydžiai, skaičiaus svyravimai irgi labai nedideli ir tarp mažiausio ir didžiausio skaičiaus sudaro tik šiek tiek daugiau kaip 2 %, o gatelės ląstelių, priskirtinų pagrindiniams skrydžių srautams, skaičiaus svyravimas tarp mažiausio ir didžiausio skaičiaus yra didesnis ir sudaro daugiau kaip 35 % (C priedas).

Kaip ir pirmajame oro erdvės sluoksnyje, išsiskiria vasaros periodo (4.17–4.18 pav.) duomenys, kai ląstelių, priskirtinų pagrindiniams skrydžių srautams, skaičius žymiai išauga. Dėl skrydžių fazių ypatumų šiame oro erdvės sluoksnyje gatelės ląstelių, kuriose buvo vykdyti skrydžiai, skaičius yra žymia dalimi didesnis nei prieš tai nagrinėtų oro erdvės sluoksnių atveju.



4.17 pav. Bendra svorinė gatelė pagal šešias ląstelių klases oro erdvės sluoksniui nuo 285 iki 415 SL

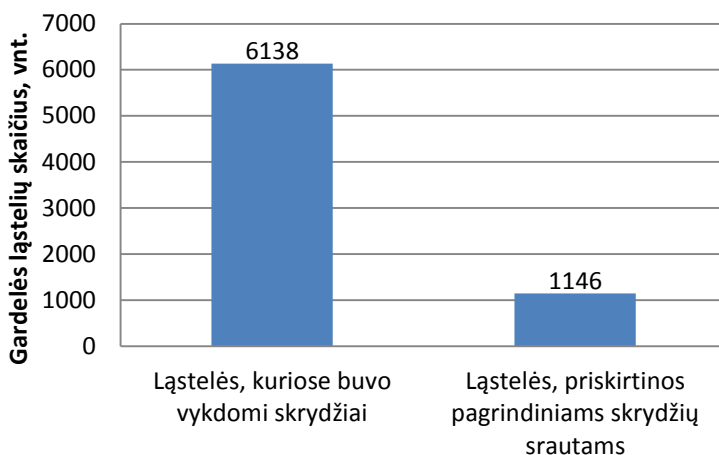
Fig. 4.17. Joint weighted grid according to six classes for airspace layer from 285 up to FL 415



4.18 pav. Bendra svorinė gatelė pagal pagrindinius skrydžių srautus oro erdvės sluoksniui nuo 285 iki 415 SL

Fig. 4.18. Joint weighted grid according to the main traffic flows for airspace layer from 285 up to FL 415

Iš bendros šiam oro erdvės sluoksniui gatelės matyti, kad intensyviausi skrydžiai šiame oro erdvės sluoksnyje buvo vykdomi virš vakarų ir centrinės Europos (4.17–4.18 pav.). Šiame oro erdvės sluoksnyje bendros gatelės ląstelės, kuriose buvo vykdyti skrydžiai, sudaro net daugiau kaip 83 % visų tiriamą regioną sudarančių ląstelių, o gatelės ląstelės, priskirtinos pagrindiniams skrydžių srautams – daugiau kaip 15 % (4.19 pav.). Taigi, galima daryti išvadą, kad šiame oro erdvės sluoksnyje vykdomi skrydžiai daro didžiausią įtaką formuojamiems pagrindiniams skrydžių srautams tiriamame regione.



4.19 pav. Bendros oro erdvės sluoksniui nuo 285 iki 415 SL svorinės gardelės ląstelių pasiskirstymas

Fig. 4.19. Distribution of joint weighted grid cells for airspace layer from 285 up to FL415

Skirtumas nuo žemiau esančių oro erdvės sluoksnių yra toks, kad šioje oro erdvės dalyje vykdomos skrydžio fazės vyksta platesnėje geografinėje teritorijoje. Šiame sluoksnyje vyraujančios gardelės ląstelės vaizduoja, kad dalis realiai vykdomų skrydžių ar kažkuri šių skrydžių dalis yra atliekama ne tik oro keliais. Šio oro erdvės sluoksniu skaidymo į svorines gardeles rezultatai rodo, kad gardelės ląstelės, nepriskirtinos pagrindiniams skrydžių srautams, taip pat užima didžiausią tiriamos erdvės dalį, tačiau ji žymiai mažesnė nei žemiau esančiuose oro erdvės sluoksniuose.

4.2.4. Svorinės gardelės nuo 415 iki 660 SL formavimas

Šiame oro erdvės sluoksnyje vykdomi skrydžiai tik kreiseriniame aukštyje.

Tik gana nedidelės dalies orlaivių, daugiausia verslo klasės reaktyvinių orlaivių, kreiseriniai aukščiai yra šio oro erdvės sluoksniu apimamuose skrydžių lygiuose.

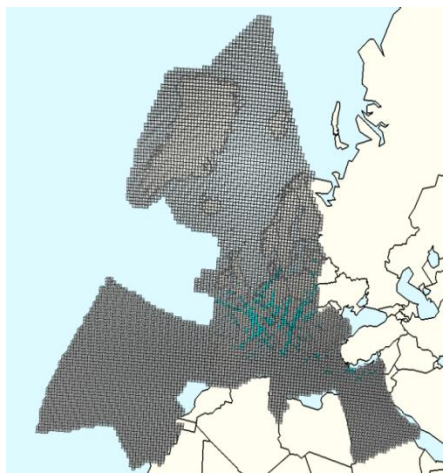
Pagal tyrimui naudojamų skrydžių duomenis gautas svorinės gardeles tiriamos oro erdvės sluoksniui nuo 415 SL iki 660 SL (D priedas) aiškiai matoma, kad skrydžių skaičius šiame sluoksnyje yra mažiausias.

Nors ląstelių skaičius, kuriame buvo vykdyti skrydžiai, yra panašus, kaip ir žemutinei oro erdvei priklausančiuose oro erdvės sluoksniuose (0–195 SL ir

195–285 SL), šiame oro erdvės sluoksnyje nėra nė vienos gardelės ląstelės, priskirtinos pagrindiniams skrydžiams.

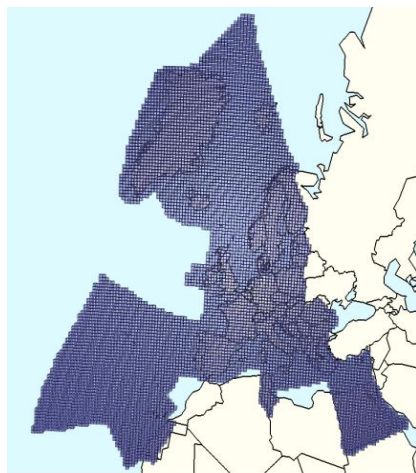
Gardelės ląstelių, kuriose buvo vykdyti skrydžiai, skaičiaus svyravimai irgi labai nedideli ir atitinkamai tarp mažiausio ir didžiausio skaičiaus sudaro tik apie 6,5 % (D priedas).

Kaip ir kitų tiriamų oro erdvės sluoksnių atvejais, išsiskiria vasaros periodas, kai skrydžių geografinis išsibarstymas yra didžiausias, o ląstelių, priskirtinų pagrindiniams skrydžių srautams, skaičius žymiai išauga.



4.20 pav. Bendra svorinė gardelė pagal šešias ląstelių klases oro erdvės sluoksniui nuo 415 iki 660 SL

Fig. 4.20. Joint weighted grid according to six classes for airspace layer from 415 up to FL 660



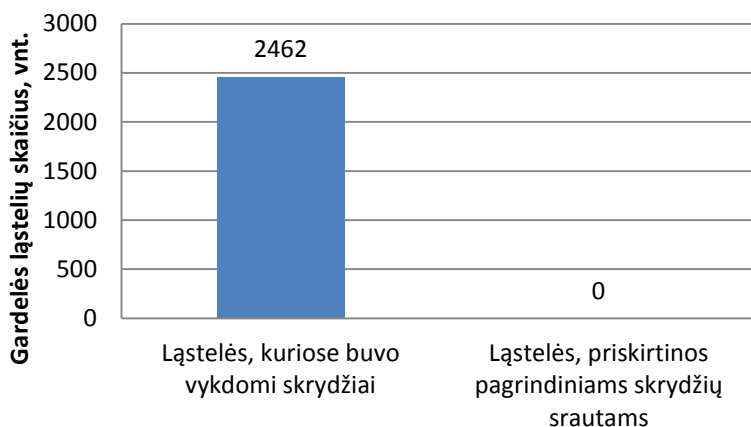
4.21 pav. Bendra svorinė gardelė pagal pagrindinius skrydžių srautus oro erdvės sluoksniui nuo 415 iki 660 SL

Fig. 4.21. Joint weighted grid according to the main traffic flows for airspace layer from 415 up to FL 660

Iš bendros šiam sluoksniui gardelės matyti, kad intensyviausi skrydžiai šiame oro erdvės sluoksnyje buvo vykdomi centrinėje tiriamo regiono dalyje (4.20–4.21 pav.). Šiame oro erdvės sluoksnyje bendros gardelės atveju ląstelės, kuriose buvo vykdyti skrydžiai, sudaro 33 % visų tiriamą regioną sudarančių ląstelių, tačiau nėra nė vienos gardelės ląstelės, priskirtinos pagrindiniams skrydžių srautams (4.22 pav.).

Iš gautų rezultatų akivaizdu, kad šiame oro erdvės sluoksnyje vykdomi skrydžiai kol kas nedaro įtakos formuojamiems pagrindiniams skrydžių srautams tiriamame regione.

Tačiau didėjantis naujų reaktyvinių orlaivių skaičius lemia tai, kad dažnai šių orlaivių kreiseriniai aukščiai patenka į šį oro erdvės sluoksnį, todėl skrydžių srautų, vykdomų šiame oro erdvės sluoksnyje, įtaka nuolat didėja.



4.22 pav. Bendros oro erdvės sluoksniui nuo 415 iki 660 SL svarinės gardelės ląstelių pasiskirstymas

Fig. 4.22. Distribution of joint weighted grid cells for airspace layer from 415 up to FL660

Skirtumas nuo žemiau esančių oro erdvės sluoksnių yra tas, kad šioje oro erdvės dalyje vykdomos skrydžio fazės vyksta platesnėje geografinėje teritorijoje. Šiame sluoksnyje vyraujančios gardelės ląstelės rodo, kad dalis realiai vykdomų skrydžių ar kažkuri šių skrydžių dalis atliekama ne tik oro keliais.

Šio oro erdvės sluoksnio skaidymo į svarines gardeles rezultatai rodo, kad gardelės ląstelės, nepriskirtinos pagrindiniams skrydžių srautams, taip pat užima didžiausią dalį, tačiau ji žymiai mažesnė nei toliau esančiuose oro erdvės sluoksniuose.

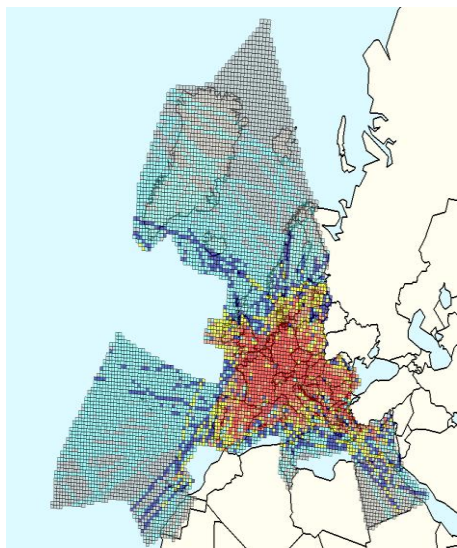
4.2.5. Bendros svarinės gardelės formavimas

Išanalizavus visus keturis tiriamos oro erdvės sluoksnius pagal metodiką, ir siekiant, kad formuojamų regioninių OEB visų tiriamų oro erdvės sluoksnių šoninės ribos sutaptų, sudaroma bendra svarinė gardelė visiems tiriamos oro erdvės sluoksniams.

Bendros svarinės gardelės ląstelės apima visas ją sudarančių oro erdvės sluoksnių gardelės ląsteles, leidžiančias kiekviename tiriamo regiono vietoje įvertinti visus vykdomų skrydžių fazių ypatumus, oro eismo vadybos sistemos sudaromas sąlygas bei skrydžių srautų kiekybinį pasiskirstymą, kurios ir yra pagrindas formuojant regioninius OEB (Kondroška ir Stankūnas, 2012a).

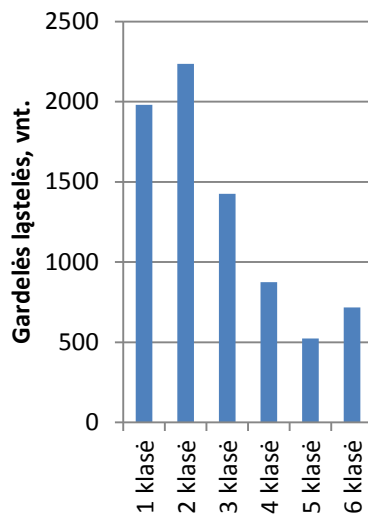
Bendros gardelės ląstelės apimama informaciją apie ląstelės koordinatas, skrydžių skaičių, svarinę klasę bei ląstelės numerį oro erdvės tyrimo modelyje (F priedas).

Akivaizdu, kad suformuotoje bendroje visiems tiriamos erdvės sluoksniams gardelėje ląstelių pasiskirstymas į klases skiriasi nuo jų pasiskirstymo kiekviename oro erdvės sluoksnyje (4.23–4.24 pav.). Taip pat skiriasi ir gardelės ląstelių, reprezentuojančių pagrindinius srautus, pasiskirstymas.



4.23 pav. Bendra svorinė gardelė pagal šešias ląstelių klases

Fig. 4.23. Distribution of Common grid cells



4.24 pav. Bendros svorinės gardelės ląstelių pasiskirstymas

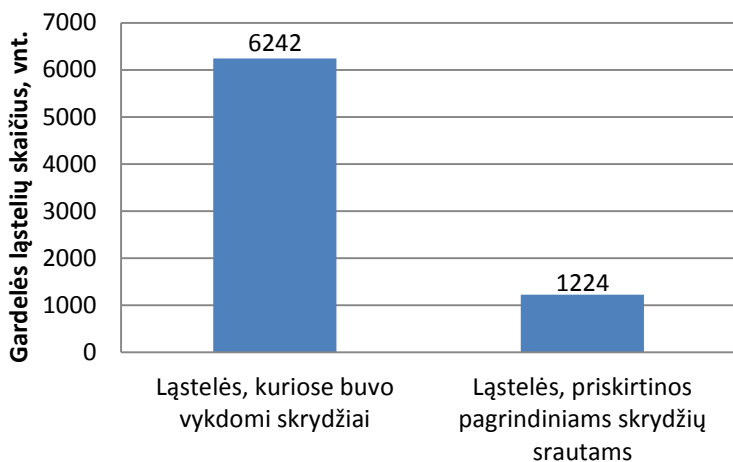
Fig. 4.24. Distribution of Common grid cells

Sudaryta bendra gardelė pažymi, kad beveik visuose tiriamo regiono taškuose yra vykdomi skrydžiai, o daugiau kaip 16,5 % visų gardelės ląstelių priskirtina pagrindiniams skrydžiams (4.25 pav.).

Priklausomai nuo skrydžių fazių, oro uostų išsidėstymo vyraujantys skrydžių srautų aukščiai ir intensyvumas yra skirtingas, tačiau bendra gardelė padeda visa tai apibendrinti.

Tyrimui svarbus skirtingų metų laikų duomenų taikymas. Tai sudaro sąlygas išvengti galimų duomenų svyravimų ir rezultatų išsibarstymo.

Bendros visam tiriamo regiono oro erdvės gardelės ląstelių, priskiriamų pagrindiniams skrydžių srautams, pagrindu, klasterizavimas atliekamas pagal metodiką.



4.25 pav. Bendros svorinės gardelės ląstelių pasiskirstymas

Fig. 4.25. Distribution of Common grid cells

Iš sudarytos bendros gardelės tiriamai oro erdvei galima pažymėti, kad oro erdvės sluoksniš nuo 285 iki 415 SL turi didžiausią įtaką skrydžių srautų formavimui regione. Tai veikia faktą, kad pagrindinių naudojamų orlaivių kreiserinis aukštis taip pat patenka į šį sluoksnį ir tai, jog šiame oro erdvės sluoksnyje dažniausiai būna skrydžių kreiseriniame aukštyje fazė. Be abejo, nemažą įtaką daro ir žemutiniai tiriami oro erdvės sluoksniai, tačiau jų įtaka daugiau matoma lokalinėse geografinėse vietose, t. y. apie pagrindinius oro uostus, esančius regione.

4.3. Klasterių formavimas tiriamoje oro erdvėje

Gautos bendros tiriamiems oro erdvės sluoksniams svorinės gardelės, remiantis pirmojo skyriaus išvadomis ir siūloma metodika, klasterizuojamos naudojant hierarchinius klasterizacijos metodus.

Siekiant nustatyti regioniniams OEB formuoti geriausiai tinkamą hierarchinio klasterizavimo metodą, gardelės ląstelėms klasterizuoti naudojami 5 skirtingi metodai, tačiau galutinei analizei pateikiami du geriausi, kurie labiausiai tenkina pradinius apribojimus klasteriams ir yra tinkamiausi oro erdvės elementams formuoti.

Taip pat vertinama klasterių pasiskirstymo sklaida apie vidurkį (standartinis nuokrypis), t. y., kuo klasterių pasiskirstymo standartinis nuokrypis mažesnis, tuo metodas yra tinkamesnis. Mažesnė pasiskirstymo sklaida apie vidurkį lemia tolygesnį pasiskirstymą (tolygesni klasterių dydžiai).

Be atitikimo kitiems metodikos 3.5. poskyryje pateiktiems regioninių OEB formavimo kriterijams, taikomi metodai yra vertinami pagal suformuotų klasterių tarpusavio dydį. Siekiama, kad suformuoti klasteriai ir regioniniai OEB būtų panašaus dydžio, kad būtų sąlygos vėliau jiems taikyti vienodas efektyvumą didinančias veiklos priemonės.

Tuo tikslu tyrimo metu klasterizavimo metodas buvo laikomas tinkamu, jei suformuotų klasterių dydžiai tarpusavyje nesiskiria daugiau nei 50 %. Jei pasirodytų, kad nė vienu taikomu klasterizacijos metodu nebuvo gautas ir ši kriterijų tenkinantis variantas, t. y. būtų klasterių, kurie pagal dydį netenkina minėto apribojimo, tuomet tinkamiausiu laikytinas variantas, kuriuo gautas mažiausias tokių klasterių skaičius.

Remiantis diseracijos 1 ir 3 dalyse pateikta medžiaga, tam, kad būtų galima sudaryti sąlygas skrydžių ir OEV veiklos efektyvumui tiriamoje oro erdvėje didinti bei atsižvelgiant į tai, kad Europos regione šiuo metu yra 9 FAB iniciatyvos, tyrimo metu, panaudojant sukurtą oro erdvės modelį ir taikant numatytus klasterizacijos metodus formuojama nuo 2 iki 9 klasterių.

Tyrimo metu gauti rezultatai parodė, kad minėtus regioninių OEB formavimo reikalavimus ir apribojimus labiausiai tenkina 3 metodai (E priedas):

- vidutinės jungties;
- pilnosios jungties;
- vardo metodas.

Tiriamoje erdvėje formuojant devynis klasterius geriausiai nustatytus regioninių OEB kriterijus tenkino vardo metodas. Tačiau vieną iš suformuotų klasterių (antrojo) sudarančių taškų skaičius (E priedas) netenkino apribojimo dėl klasterių dydžių subalansavimo. Šį klasterį sudarė tik 4,7 % ląstelių, o didžiausią klasterį sudarė 15,4 % gardeles ląstelių. Kiti suformuoti klasteriai visus apribojimus tenkino.

Skirstant gardelės ląsteles į aštuonis klasterius geriausiai nustatytus regioninių OEB kriterijus tenkino taip pat vardo metodas. Tačiau, kaip ir skaidymo į devynis klasterius atveju, dalis iš suformuotų klasterių netenkino apribojimo dėl klasterių dydžių subalansavimo. Tyrimo metu suformuoti 2-as, 4-as ir 8-as (E priedas), kuriuos atitinkamai sudarė 4,7 %, 7,9 % ir 9,8 % gardelės ląstelės neatitiko apribojimo dėl formuojamų klasterių subalansavimo. Kiti suformuoti klasteriai visus taikomus regioninių OEB kriterijus tenkino.

Skirstant gardelės ląsteles į septynis klasterius, kaip ir prieš tai buvusiais atvejais sudarant 8-is ir 9-is klasterius, visus geriausiai regioninių OEB formavimui taikomus kriterijus tenkino vardo metodas. Tačiau tyrimo metu gauti du klasteriai, kuriuos sudarančių gardelės ląstelių skaičius skiriasi daugiau nei leidžia apribojimai: 3-ią ir 7-ą klasterį (E priedas) atitinkamai sudarė 7,9 % ir 9,8 % taškų. Kiti suformuoti klasteriai atitiko visus apribojimus.

Skirstant gardelės ląsteles į šešis klasterius, geriausiai nustatytus regioninių OEB kriterijus atitiko pilnosios jungties klasterizacijos metodas. Tačiau tyrimo metu buvo suformuotas vienas, tik 5 procentus visų gardelės ląstelių vienijantis klasteris (E priedas). Kiti suformuoti klasteriai visus apribojimus tenkino.

Skirstant gardelės ląsteles į penkis klasterius, visus regioninių OEB formuoti taikomus kriterijus atitiko pilnosios jungties klasterizacijos metodas. Pastebėtina, kad tyrimo metu suformuoti visi klasteriai atitiko ne tik formuojamiems regioniniams OEB taikomus reikalavimus, bet ir tenkina klasterių dydžių apribojimus. Pagal tyrimo duomenis (E priedas), kiekviename suformuotame klasteryje yra ne mažiau kaip 13 % visų tiriamos erdvės gardelės ląstelių.

Skirstant gardelės ląsteles į keturis klasterius, visus regioninių OEB formavimo kriterijus tenkino vardo metodas. Be to, visi gauti klasteriai tenkino klasterių dydžių apribojimus (E priedas).

Skirstant gardelės ląsteles į tris klasterius, visus formuojamiems regioniniams OEB taikomus kriterijus atitiko vardo klasterizacijos metodas. Tačiau vienas tyrimo metu suformuotą 3-į klasterį sudarančių gardelės ląstelių skaičius (E priedas) netenkina apribojimo dėl klasterių dydžių. Šį klasterį sudaro tik 21,9 % taškų. Likę klasteriai tenkina visus apribojimus.

Skirstant gardelės ląsteles į du klasterius, visus regioninių OEB formavimo kriterijus tenkino vardo metodas. Be to, visi gauti klasteriai tenkino klasterių dydžių apribojimus (E priedas).

Tinkamiausiu formuojamiems regioniniams OEB laikytinas klasterizacijos metodas, kuris atitinka visus formuojamiems regioniniams OEB taikytinus kriterijus ir reikalavimus klasterių dydžių pasiskirstymui.

Visų nagrinėtų atvejų gardelės ląstelių pasiskirstymas apie vidurkį (procentinį) formuojamuose klasteriuose pateikiamas 4.1 lentelėje.

Gauti rezultatai rodo, kad standartinis nuokrypis yra didžiausias tiriamame regione formuojant tris klasterius ($\sigma_{Al} = 23,24$, $\sigma_{Cl} = 25,04$, $\sigma_W = 12,16$). Tai gi, galima teigti, kad gardelės ląsteles skirstymo į 3 klasterius atveju gaunamos netolygiausios ląstelių grupės, o skirtumai tarp suformuotų klasterių yra didžiausi. Taip pat stebimos labai netolygios formuojamų gardelės ląstelių grupės sudarant du ir keturis klasterius.

4.1 lentelė. Gardelės ląstelių skirstymas į klasterius

Table 4.1. Distribution of Grid Cells into Clusters

Klasterių sk.	Vidutinės jungties metodas	Pilnosios jungties metodas	Vardo metodas
9	8,008	7,532	5,571
8	7,806	7,955	5,707

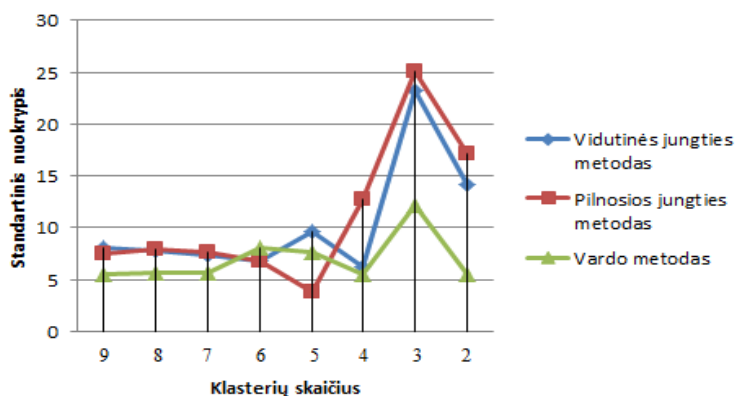
7	7,397	7,696	5,593
6	6,776	6,742	8,103
5	9,650	3,839	7,632
4	6,173	12,709	5,532
3	23,240	25,043	12,161
2	14,142	17,112	5,515

Analizės metu gauti rezultatai parodė, kad trimis iš nagrinėtų atvejų be formuojamiems regioniniams OEB taikomų kriterijų tenkinami klasterius sudaranti gardelės ląstelių skaičiaus skirtumo apribojimai. Tai atvejai, kai:

- naudojant pilnosios jungties klasterizacijos metodą tiriamame regione buvo formuojami penki klasteriai (E priedas);
- naudojant vardo klasterizacijos metodą tiriamame regione buvo formuojami keturi klasteriai (E priedas);
- naudojant vardo klasterizacijos metodą tiriamame regione buvo formuojami keturi klasteriai (E priedas).

Tyrime formuojamiems regioniniams OEB pagal nustatytus kriterijus naudotų klasterizacijos metodų grafinis palyginimas rodo, kad remiantis 4.1 lentelėje ir 4.26 paveiksle pateiktais duomenimis klasterių procentinio pasiskirstymo sklaida apie vidurkį yra mažiausia ($\sigma_{Cl} = 3,83$) gardelės ląstelių klasterizavimo į penkis klasterius atveju. Tai optimalus variantas tiriamai oro erdvei.

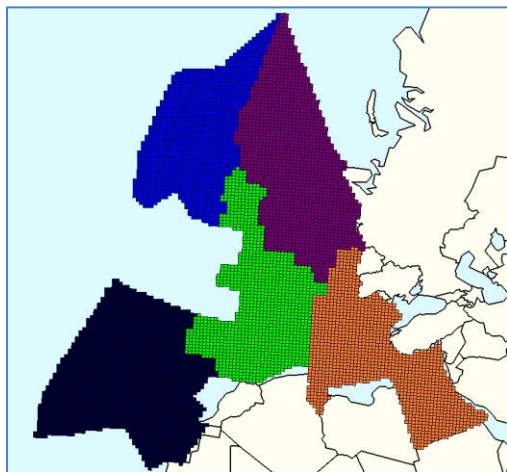
Taigi, tiriamai oro erdvei geriausiai tiko pilnosios jungties klasterizacijos metodas. Pažymėtina, kad vardo klasterizacijos metodo taikymo perspektyvos irgi labai geros, nes net šešių nagrinėtų atvejų metu būtent vardo klasterizacijos metodas geriausiai atitiko regioninių OEB formavimo kriterijus ir 4 bei 8 klasterių formavimo atvejais tenkino ir klasterių taškų kiekio skirtumo apribojimą. Be to, standartinis nuokrypis (4.1 lentelė) daugumoje nagrinėtų atvejų taip pat nėra didelis.



4.26 pav. Trijų metodų klasterių standartinių nuokrypių palyginimas

Fig. 4.26. Comparison of standard deviation of three clustering methods

Remiantis tyrimo rezultatais, regioninių OEB formavimo tyrimuose taikant hierarchinio klasterizavimo metodus oro erdvės elementams nustatyti, tikslinga taikyti abu geriausiai užsirekomendavusius metodus: pilnosios jungties ir vardo metodus. Pritaikius abu šiuos metodus regiono oro erdvės tyrimui būtų užtikrintas atitikimas oro erdvės elementų sudarymo kriterijams bei ir formuojamų oro erdvės elementų taškų kiekio skirtumo apribojimų tenkinimas, o optimalus regiono mastu nustatomų oro erdvės elementų variantas būtų parenkamas pagal mažiausią standartinį nuokrypį.



4.27 pav. Optimalus tiriamos erdvės suskirstymas klasteriais

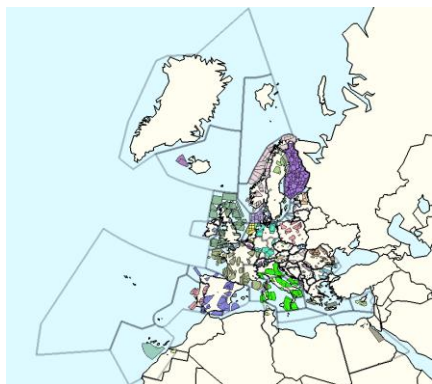
Fig. 4.27. Optimal clusters in the analysed Airspace

Siūlomos metodikos pagalba suformuoti penki klasteriai (pažymėti skirtingomis spalvomis) yra subalansuoti tarpusavyje pagal dydį (4.27 pav.), todėl jų pagrindu sudaryti regioniniai OEB įgalintų sėkmingai taikyti vieningus jų veiklos efektyvumo rodiklius (Stankūnas ir Kondroška, 2012b).

4.4. Regioninių oro erdvės blokų formavimas

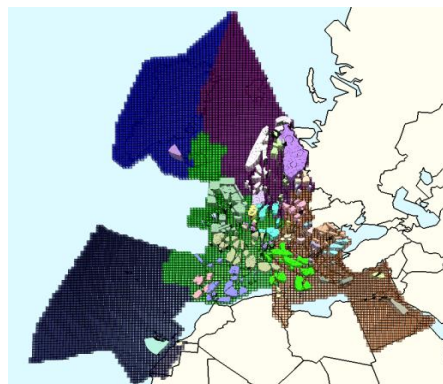
Klasterizacijos metu nebuvo įvertintas karinių zonų tiriamajame regione išsidėstymas, todėl gautų klasterių dar negalima laikyti formuojamais regioniniais OEB tiriamoje oro erdvėje.

Tuo tikslu naudojamas tiriamos oro erdvės modelis papildomas karinių zonų žemėlapiu (4.28 pav.). Karinių zonų įtaka formuojamiems regioniniams OEB matoma prie sudaromų regioninių OEB ribų (4.29 pav.).



4.28 pav. Karinių zonų žemėlapis Europos regione

Fig. 4.28. Military zones in European Region

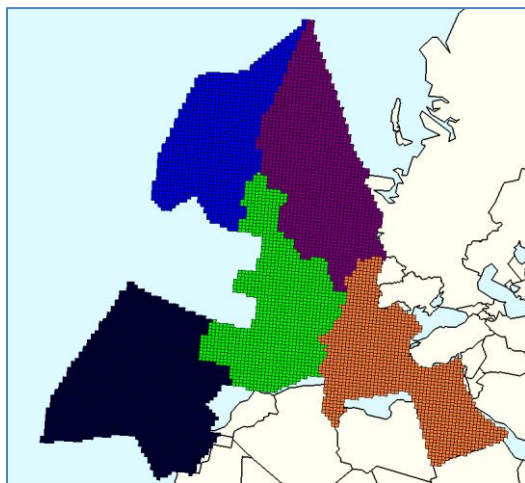


4.29 pav. Bendras klasterių ir karinių zonų žemėlapis

Fig. 4.29. Common map of clusters and military zones

Dėl padėties (ribojasi su visais kitais suformuotais klasteriais) ir karinių zonų išsidėstymo Europos regione, patikslinimų tiriamoje oro erdvėje daugiausia reikia tiriamo regione centrinėje dalyje suformuotam klasteriui (žalios spalvos). Dėl karinių zonų išsidėstymo neprireikė koreguoti tik tamsiai mėlyna spalva pažymėto klasterio ribų. Suformuotų klasterių ribų korekcija buvo atliekama atsižvelgiant į disertacijos 3 dalyje numatytas buferinių zonų ribas.

Užbaigus koregavimo procesą gaunami regioniniai OEB, atitinkantys visus nustatytus kriterijus. Gauti tiriamai oro erdvei regioniniai OEB (pažymėti skirtingomis spalvomis) pateikiami 4.30 paveiksle.



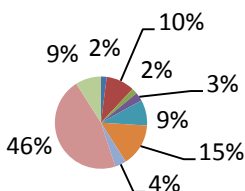
4.30 pav. Optimalus tiriamos erdvės suskirstymas į oro erdvės blokus
Fig. 4.30. Optimal Airspace Blocks in the analysed Region

Nagrinėjamas regionas parankus tuo, kad jame yra kuriami FAB, kuriuos galime palyginti su, remiantis siūloma metodika, suformuotais regioniniais OEB. Remiantis disertacijos pirmosios dalies išvada, kad egzistuojanti oro erdvės fragmentacija, kuri labai aktuali tiriamai Europos regiono oro erdvei, yra viena pagrindinių ribojančių sąlygų OEV sistemos veiklos ir skrydžių efektyvumui didinti. Akivaizdu, kad bet koks jos mažėjimas gerina sąlygas priemonėms, gerinančioms aviacijos sistemos veiklos efektyvumą įdiegti.

Bendro Europos dangaus koncepcijos įgyvendinimas ir su tuo susijęs FAB diegimas regione yra pirmas žingsnis gerinant pamatines OEV veiklos sąlygas, t. y. leidžiantis atitinkamas priemones įgyvendinti ne vienos, o kelių valstybių oro erdvėje, todėl pati sistema pajėgs aprėpti didesnę orlaivių skaičių, o skrydžiai taps efektyvesni. Europos oro erdvėje formuojami FAB yra labai įvairūs apimamos oro erdvės plotu ir net keturių iš jų apimamas plotas yra mažesnis nei 5 % tiriamo regiono ploto, o didžiausio plotas sudaro net 46 % viso regiono ploto (4.31 pav.).

Siūlomos regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodikos pagrindu suformuoti regioniniai OEB ne tik atitinka nustatytus kriterijus, bet ir yra tarpusavyje subalansuoti (4.32 pav.). Tokio sprendimo ekonominę naudą pagrindžia ir laukiama kuriamų FAB pridėtinė vertė (*Eurocontrol*, 2008). Net ir vieno mažiausių formuojamų FAB – Baltijos FAB, susidedančio iš Lietuvos ir Lenkijos oro erdvės ir apimančio tik apie 2 % tiriamo regiono oro erdvės, numatoma pridėtinė vertė iki 2030 metų siekia iki 130 mln. EUR (*Helios*, 2010).

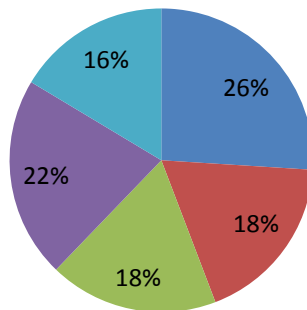
■ Baltijos FAB
 ■ BlueMed FAB
 ■ Danube FAB
 ■ FABCE
 ■ FABEC
 ■ NEFAB
 ■ Danish-Sweedish FAB



4.31 pav. FAB pasiskirstymas pagal užimamą oro erdvę

Fig. 4.31. FAB distribution according to covering Airspace

■ 1 OEB ■ 2 OEB ■ 3 OEB
 ■ 4 OEB ■ 5 OEB



4.32 pav. OEB pasiskirstymas pagal užimamą oro erdvę

Fig. 4.32. OEB distribution according to covering Airspace

Tačiau pats FAB kūrimo proceso organizavimas neleidžia iš karto pasiekti, kad pirminiai kelių valstybių oro erdvės pagrindu kuriami nauji oro erdvės dariniai atitiktų siekiamus OEV sistemos veiklos gerinimo ir skrydžių efektyvumo užtikrinimo tikslus.

Atsiželgiant į tai, jog oro erdvės blokų formavimu siekiama optimizuoti oro eismo vadybos veiklą, skrydžių efektyvumas ir poveikis aplinkai yra vieni svarbiausių elementų. Priemonių mažinančių degalų sunaudojimą, užtikrinančių trumpesnį skrydžio laiką ir mažesnę taršą įdiegimas, tiesiogiai įtakoja skrydžių efektyvumą.

Tyrimui naudojami realių skrydžių duomenys, patikslinti pritaikius jiems laisvų skrydžių oro erdvės koncepciją, ne tik užtikrina sezoniskumo įtakos įvertinimą tyrimo eigoje bei įvertina skrydžių srautus dienos ir nakties periodu, bet ir sudaro sąlygas efektyvesniems skrydžių maršrutams, tuo mažinant oro erdvės naudotojų kaštus, degalų sunaudojimą ir taršą.

Pažymėtina, jog tiriamame regione vidutinis skrydžio horizontalios trajektorijos nuokrypis nuo laisvų skrydžių koncepciją atitinkančios horizontalios trajektorijos yra 47,6 km, iš kurių 15,3 km priskirtini skrydžio fazei kreiseriniame aukštyje ir 30,3 km – susiję su skrydžių operacijomis oro uostų prieigose (*Eurocontrol*, 2009). Atsižvelgiant į tai, jog taikant pasiūlytą regiono oro erdvės struk-

tūros nustatymo metodą, pradžioje nustatomi regioniniai OEB, kurie vėliau dalinami į regiono SVC ir SV sektorius, regiono mastu suformuotiems regioniniams OEB tikslinga priskirti tik horizontaliosios skrydžio trajektorijos optimizavimą, susijusį su skrydžiais regiono oro erdvėje.

4.2 lentelė. Papildomas skrydžių atstumas ir tarša vidutiniškai per parą

Table 4.2. Average additional flight distance and emissions

Papildomas vidutinis skristas atstumas, NM	Papildomas vidutinis degalų sunaudojimas, kg	Papildomas vidutinis skrydžių laikas, val.	Papildoma vidutinė CO_2 tarša, kg	Papildoma vidutinė NO_x tarša, kg	Papildoma vidutinė H_2O tarša, kg
250 509	528992	160	1665796	6348	650660

Pagal tyrimui naudotus realių skrydžių duomenis vidutinis skrydžių skaičius sudarė 30323 skrydžių ir atitinkamai 463942 km arba 250509 jūrmylių papildomo skrydžio atstumo per parą, lyginant su laisvų skrydžių koncepcijos taikymo atveju.

Realių skrydžių pagrindu ir pritaikant laisvų skrydžių koncepciją tiriamame regione suformuoti regioniniai OEB, sudaro sąlygas sumažinti skristą atstumą, degalų sunaudojimą, bei CO_2 , NO_x , H_2O taršą. Skaičiuojant taršą taikoma, kad vienai tonai degalų tenka 3,149 tonos CO_2 , 0,012 tonos NO_x ir 1,23 tonos H_2O .

Atsižvelgiant į tai, jog nuo 2012 metų aviacijai irgi taikoma taršos paskirstymo schema, ji įtakoja visus oro erdvės naudotojus, nepriklausomai kur jie bazuojasi, ar jų išvykimo ir paskirties oro uosto tiriamam Europos regione.

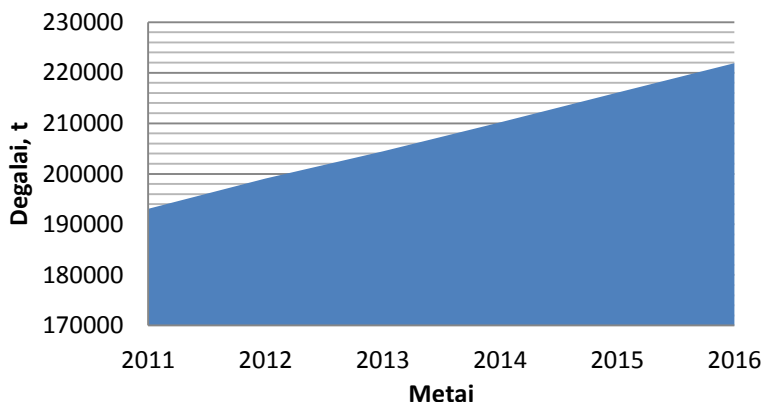
4.3 lentelė. Taršos pinigine vertė

Table 4.3. Values of emissions

Taršos rūšis	Vidutinė pinigine vertė (EUR už toną)
CO_2	30
NO_x	3960
H_2O	8,4

Visos trys taršos rūšys gali būti išreikštos pinigine prasme. Lentelėje 4.2 pateikiami šių taršos rūšių piniginių atitikmenų vidutinės reikšmės (Perl, Patterson ir Perez, 1997; Chesneau (Transiciel), Hustache (Steria) ir Fuller, 2003).

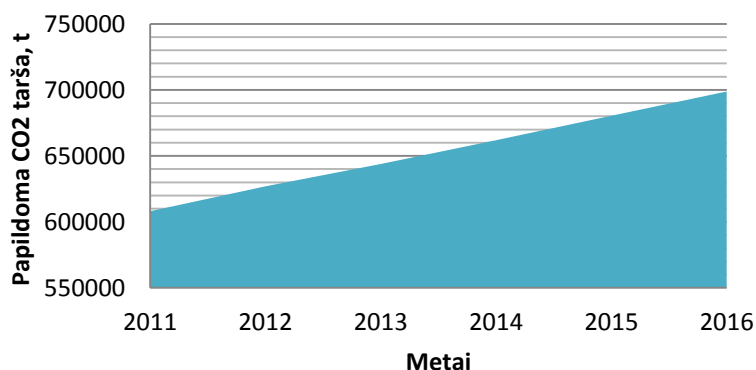
Atsižvelgiant į taršos dydžius (4.3 lentelė) ir prognozuojamus skrydžių skaičius (1.4 pav.), tiriamame regione galima nustatyti, siūlomos metodikos pagalba, suformuotų regioninių OEB privalumą aplinkos taršos srityje (4.33–4.34 pav.).



4.33 pav. Degalų papildomo sunaudojimo dinamika

Fig. 4.33. Additional fuel consumption Dynamics

Be sąnaudų taršai, vidutinės oro erdvės naudotojų sąnaudos skrydžio minūtei, apimančios visas operacines tiesioginių sąnaudų dedamąsias (degalų ir tepalų kaštai, įgulos kaštai ir t.t.) sudaro 81 eurą (*Westminster, 2011*) arba vidutiniškai apie 300 ml. EUR per metus, kai orlaiviai skrenda oro keliais, o ne laisvų maršrutų oro erdvėje (4.34. pav.).



4.34 pav. CO₂ taršos dinamika dėl papildomo degalų sunaudojimo

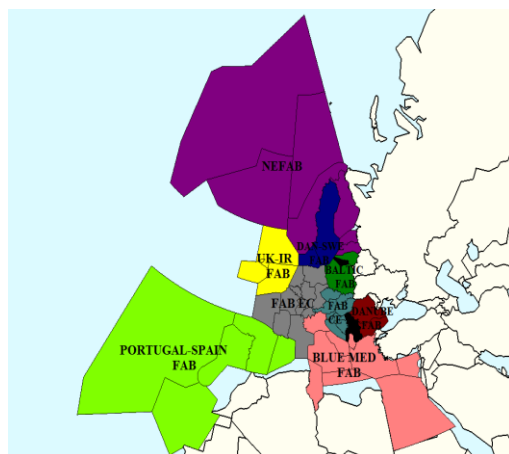
Fig. 4.34. Dynamics of CO₂ due to additional fuel consumption

Remiantis siūloma metodika, tiriamoje oro erdvėje buvo siekiama užtikrinti, kad formuojamų regioninių OEB struktūra atitiktų keliamus efektyvumo kriterijus kaip pagrindinį reikalavimą palankių sąlygų OEV veiklos ir skrydžių efektyvumui užtikrinti. Tyrimo rezultatai, pritaikius siūlomą metodiką, parodė, kad:

- tiriamoje erdvėje 2012 metų pabaigoje bus sudaryti 9 FAB (4.35 pav.), o darbe remiantis siūloma regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodika siūlomo optimalaus varianto atveju, tiriamoje erdvėje reikėtų formuoti 5 regioniniai OEB. Akivaizdu, kad devyni FAB tiriamam Europos regionui yra per didelis skaičius, tik iš dalies panaikinantis neigiamą fragmentacijos įtaką;
- Europos oro erdvėje formuojami FAB yra labai įvairūs apimamos oro erdvės plotu (*Eurocontrol*, 2008), ir net keturių iš jų apimamas plotas yra mažesnis už 5 % tiriamo regiono ploto, o didžiausio plotas sudaro net 46 % viso regiono ploto. Remiantis siūloma metodika suformuoti regioniniai OEB yra subalansuoti savo užimamu plotu (didžiausias už mažiausią yra didesnis tik 37 %). Tai įgalina žymiai lengviau taikyti visiems regioniniams OEB vienodus veiklos efektyvumo modelius;
- šioje stadijoje FAB Europos regione yra formuojami labiau politiniu nei funkcinio ar veiklos efektyvumo pagrindu, o regioniniai OEB formuojami vyraujančių skrydžių srautų pagrindu, todėl galima suformuoti optimalius oro erdvės darinius neatsižvelgiant į didžiausios aviacijos fragmentacijos priežastį – valstybių sienas. Tai sudaro sąlygas užtikrinti efektyvesnius skrydžius (horizontalias ir vertikalias trajektorijas), mažinti skrydžių užlaikymo trukmę, turėti didesnę oro erdvės pralaidumą ir mažesnę aviacijos sektoriaus taršą;
- dėl to, kad FAB formavimo procesas yra labiau politinis, FAB ribos nėra koreguojamos atsižvelgus į karinių ir kitų zonų išsidėstymą regione. Formuojant regioninius OEB į tai atsižvelgiama, taigi sudaromos sąlygos išvengti didelės dalies šiuo metu atliekamo koordinavimo tarp kaimyninių SVC dėl vienu ar kitu naudojimo zonų;
- įvertinus FAB ir regioninių OEB geografinį išsidėstymą galima teigti, kad jie nėra kardinaliai skirtingi ir nieko tarpusavyje neturi ar negali turėti bendra. Akivaizdu, kad šiuo metu kuriami FAB ateityje, įvertinus prieš tai minėtus aspektus, galėtų būti jungiami skrydžių srautų efektyvumo gerinimo tikslu ir priartėti prie siūlomų regioninių OEB struktūrų. Taigi, sujungus kai kuriuos nedidelę oro erdvę apimančius FAB tiriamo regiono centrinėje dalyje būtų galima pasiekti, kad FAB geografinis išsidėstymas taptų labai panašiu į siūlomos metodikos pagalba suformuotų regioninių OEB geografinį išsidėstymą. Pažymėtina, kad pietvakarinėje regiono dalyje esanti FAB iniciatyva (*Portugal-Spain* FAB, 4.35 pav.)

pagal plotą jau šiuo metu yra didesnė nei tyrimo metu šiose srityse suformuoti regioniniai OEB (4.30 pav.);

- laisvų skrydžių maršrutus atitinkančių regioninių OEB suformavimas, sudarytų sąlygas ne tik sumažinti degalų sunaudojimą, bet ir aplinkos taršą, tiek CO₂ ir NO_x dujomis bei vandens garais (4.33 ir 4.34 pav.). Tolesnis regioninių OEB sudalinimas į regiono SVC ir SV sektorius šiuos sutaupymus leistų padidinti kelis kartus (horizontalių skrydžių trajektorijų optimizavimas oro uostų prieigose).



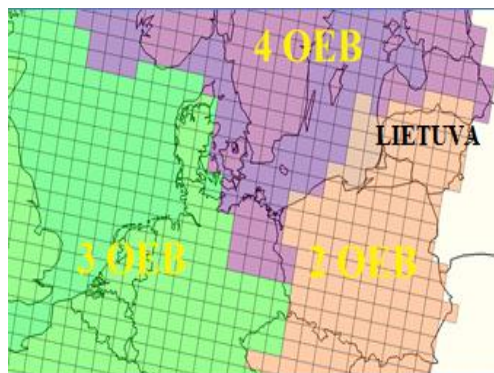
4.35 pav. FAB Europos regione

Fig. 4.35. FABs in European Region

Atsižvelgus į tai, kad Lietuva taip pat dalyvauja kuriant FAB (Baltijos FAB iniciatyva), įdomus ir Lietuvos oro erdvės priskyrimas vienam ar kitam pagal siūlomą metodiką suformuotam regioniniam OEB.

Įvertinus Baltijos FAB iniciatyvos (Lietuva ir Lenkija) geografinę padėtį ir pagal tyrimo rezultatus suformuotus regioninius OEB (4.30 pav.) matyti, kad Baltijos FAB iniciatyva turėtų būti viename regioniniame OEB (4.36 pav.), kuris driekiasi pietų kryptimi. Kaip pagrindinę tokią pat Baltijos FAB, kurio veikloje dalyvauja Lietuva, plėtros kryptį numatė ir Baltijos FAB galimybių studija (*Helios*, 2011) ir kaip vieną pagrindinių tokių krypčių įvardino ir galimybių studija optimaliam Lietuvai FAB nustatyti (ALG ir VĮ „Oro Navigacija“, 2011).

Taigi, atsižvelgus į suformuotų regioninių OEB geografinę padėtį ir vertinant šiuo metu regione formuojamus FAB, ypač tuos, kurių plotas yra iki 10 % tiriamo regiono ploto, tam, dėl prieš tai minimų priežasčių, toliau FAB galėtų būti formuojamas iki tyrimo metu gauto regioninio OEB modelio. Tuo tikslu Baltijos FAB plėtra turėtų būti orientuota glaudžiau bendradarbiauti su FAB CE.



4.36 pav. Lietuvos oro erdvė formuojamuose OEB

Fig. 4.36. Airspace of Lithuania in the defined Airspace Blocks

Galimybių studijų (*Helios*, 2011; ALG ir VĮ „Oro Navigacija“, 2011) rezultatai, kurių tyrimus atliekant disertacijos autorius dalyvavo asmeniškai, rodo, kad esami FAB ir FAB iniciatyvos yra žingsnis pirmyn gerinant skrydžių efektyvumą regione, tačiau tai nėra optimalus variantas, atitinkantis skrydžių srautus kaip vieną pagrindinių oro erdvės naudotojų lūkesčius atitinkantį kriterijų. Šiose galimybių studijose siūlomi galimi kuriamų FAB vystymosi scenarijai, tačiau siūlomų FAB konfigūracija ir skaičius negali visiškai realizuoti pagrindinių skrydžių srautų atitikimo dėl visos valstybės oro erdvės priskyrimo vienam ar kitam FAB, nežiūrint į tiriamą oro erdvę kaip vientisą. Siūlomos metodikos taikymo atveju yra eliminuojama galima tiesioginė ar netiesioginė oro erdvės fragmentacija pagal valstybių sienas ir, tuo pačiu, sudaromos sąlygos nustatyti optimalių regioninių OEB skaičių ir jų konfigūraciją skrydžių srautų pagrindu ir, tuo užtikrinant oro erdvės naudotojų lūkesčius.

Be to, siūloma regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodika leidžia koreguoti sudaromų regioninių OEB tarpusavio ribas, užtikrinant saugesnes skrydžių operacijas ir geresnį oro erdvės panaudojimą.

4.5. Ketvirtojo skyriaus išvados

Šiame skyriuje buvo atliktas regioninių oro erdvės blokų formavimo Europos regione tyrimas:

1. Regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodikai parodė, kad taikant pasiūlytą regioninių OEB formavimo metodiką galima nustatyti optimalių regioninių OEB skaičių tiriamame regione ir apibrėžti jų ribas įvertinus atitinkamų karinių zonų, esančių tame regione, išsidėstymą.

2. Gauti regioniniai OEB yra tarpusavyje subalansuoti pagal plotą, todėl įgalina taikyti vieningas visam tiriamam regionui veiklos efektyvumo priemonės.
3. Laisvų skrydžių maršrutus atitinkančių regioninių OEB suformavimas, sudaro sąlygas sumažinti ne tik degalų sunaudojimą, bet ir aplinkos taršą (CO_2 ir NO_x dujomis).
4. Atsižvelgiant į kitus tyrimus šios metodikos pagrindu sudaryti regioniniai OEB atitinka pagrindines Europoje vykdytų tyrimų OEV srityje numatytas oro erdvės elementų evoliucijos kryptis.
5. Gauti tyrimo rezultatai parodė siūlomos metodikos taikymo pranašumus lyginant su FAB formavimu politinių sprendimų pagrindu.

Bendrosios išvados

Remiantis disertaciniame darbe atliktais teoriniais ir eksperimentiniais tyrimais gautos šios apibendrintos išvados:

1. Nustatyta, kad pagrindinė oro eismo vadybos (OEV) sistemų nepakankamo efektyvumo priežastis yra oro erdvės fragmentacija pagal valstybių sienas.
2. Tam, kad būtų užtikrintas oro erdvės ir atskirų OEV sistemos elementų veiklos vientisumas, regiono oro erdvės organizavimą siūloma vykdyti pradedant nuo regioninių oro erdvės blokų (OEB) regiono mastu sudarymo, kurie paskui būtų dalinami į regiono skrydžių valdymo centrus ir skrydžių valdymo sektorius. Siūlomas regiono oro erdvės skaidymo į regioninius OEB principas sudaro sąlygas užtikrinti horizontalios skrydžių trajektorijos efektyvumą ir įvertina oro eismo paslaugų teikimo aspektus.
3. Siūloma, tyrimui naudojamus skrydžių duomenis patikslinti pritaikius jiems laisvų skrydžių oro erdvės koncepciją, jei tiriamame regione, vidutinis skirtumas tarp vykdomų skrydžių horizontalių trajektorijų ir optimalių horizontalių šių skrydžių trajektorijų yra daugiau kaip 3 %.
4. Sukurta regioninių oro erdvės blokų formavimo remiantis skrydžių srautais metodika. Pasiūlytos metodikos taikymo Europos regiono oro erdvės struktūrai optimizuoti rezultatai parodė, kad ji sėkmingai sprendžia regioninių oro erdvės blokų formavimo uždavinį.
5. Nustatyta, kad pasiūlytą metodiką geriausia realizuoti naudojant nepriklausomą oro erdvės diskretizacijos metodą – struktūrinę kvadratinę svorinę gardelę – ir hierarchinio klasterizavimo metodus bei naudoti realius skrydžių duomenis.

6. Nustatyta, kad tiriamai oro erdvei tinkamiausi yra pilnosios jungties ir vardo klasterizacijos metodai.
7. Gauti rezultatai pagrindžia, kad siūloma metodika sudaro sąlygas tiriamoje regiono oro erdvėje nustatyti optimalų regioninių OEB skaičių bei apibrėžti jų geografines ribas, atsižvelgiant į specialios paskirties zonas. Rezultatai parodė, kad tiriamoje oro erdvėje turėtų būti suformuoti penki regioniniai OEB.
8. Nustatyta, kad taikant siūlomą metodiką suformuoti regioniniai OEB ne tik atitinka nustatytus veiklos kriterijus, bet ir yra tarpusavyje subalansuoti pagal užimamą plotą. Be to, taikant šią metodiką sudaryti regioniniai OEB atitinka kitų oro erdvės stambinimo tyrimų nurodytas pagrindines oro erdvės struktūros regiono mastu pokyčių kryptis.
9. Laisvų skrydžių maršrutus atitinkančių regioninių OEB suformavimas, sudaro sąlygas sumažinti ne tik degalų sunaudojimą, bet ir aplinkos taršą (CO_2 ir NO_x dujomis).

Literatūra ir šaltiniai

ALG and SE „Oro Navigacija“, 2011. Feasibility Study to Determine the Optimal Functional Airspace Block for Lithuania. Institutional and Legal Assessment Report. Scenarios Assessment and Recommendations Report. Implementation Scheme Report. Vilnius.

Allen, D. L.; Haraldsdottir, A.; Lawler, R. W.; Pirottee, K. and Schwab, R. W., 1997. The Economic Evaluation of CNS/ATM Transition. The 1-st USA/Europe ATM Seminar. Saclay, France.

Anderberg, M. R., 1973, *Cluster analysis for applications*, Academic Press 359 p.

Andrews, J. W. and Welch, J. D., 1997. Workload implication of Free Flight Concepts. *The 1st USA/Europe ATM Seminar*. Saclay, France.

Basu, A.; Mitchell, J. S. B. and Sabhnani, G. R., 2008. Geometric Algorithms for Optimal Airspace Design and Air Traffic Controller Workload Balancing. *ALENEX '08: Ninth Workshop on Algorithm Engineering and Experiments*, p. 75–89, San Francisco, CA.

Beatty, R., 1998. Preliminary Evaluation of Flight Delay propagation through an Airline Schedule. *The 2nd USA/Europe ATM Seminar*. Orlando, USA.

Bloem, M. and Huang, H., 2011. Evaluating Delay Cost Functions with Airline Actions in Airspace Flow Programs. *The 9th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Berlin, Germany.

Baublys, A., 2002. Assessment of statistical probability of the technological transportation process, *Transport*, 17(4), 127–136. ISSN 1648-4142.

Baublys, A., 2003. Improvement of freight Transport Technologies and Implementation of New Technologies, *Transport*, 18(5): 193–197. ISSN 1648-4142.

- Baublys, A. and Išoraite, M., 2006. Synthesis of the topological structure of rood freight transport system, *Transport*, 21(3), 160–164. ISSN 1648-4142.
- Baublys, A. and Smičius, A., 2002. Models of freight transport system development, *Transport*, 17:6, 205–218. ISSN 1648-4142.
- Bradford, S.; Rodgers, M. and Colligan, W., 1997. Modeling the Other Half of the Flow. *The 1st USA/Europe ATM Seminar*. Saclay, France.
- Bugayevskiy, L. M.; Snyder, J. P., 1995. *Map projections: A reference manual*. London and Bristol, PA. ISBN 0748403035.
- Castelli, L.; Omero, M.; Pesenti, R. and Ukovich, W., 2005. Evaluating the performance of Air Control Centers. *The 5th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Budapest, Hungary.
- Chesneau (Transiciel), S.; Hustache (Steria), J.-C. and Fuller, I., 2003. *ATM flight efficiency and its impact on the environment – 2002 Study*. Brussels, Belgium.
- Conker, R. S.; Moch-Mooney, D. A.; Niedringhaus, W. P. and Simmons, B. T., 2007. New Process for “Clean Sheet” Airspace Design and Evaluation. *The 7th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Barselona, Spain.
- Delahaye, D. and Puechmorel, S., 2000. Air Traffic Complexity: Towards Intrinsic Metrics. *The 3rd USA/Europe ATM Management R&D Seminar*. Napoli, Italy.
- Delahaye, D.; Alliot, J.-M.; Schoenauer, M. and Farges, J. L., 1995. Genetic Algorithms for automatic regroupement of Air Traffic Control sectors, *Proceedings of the 4th Annual Conference on Evolutionary Programming*.
- Delahaye, D.; Schoenauer, M. and Alliot, J.-M., 1998. Airspace Sector-ing by Evolutionary Computation, *Proceedings of the IEEE a Congress on Evolutionary Computation*.
- Devasia, S.; Heymann, M. and Meyer, G., 2002. Automation Procedures for Air Traffic Management: A Token-Based Approach, *Proceedings of the American Control Conference*. Anchorage, AK, p. 736–741.
- Diday, E. and Simon, J. C., 1976. *Clustering analysis*. In Digital Pattern Recognition, K.S. Fu, Ed. Springer Verlag, Secaucus, NJ, p. 47–94.
- Diday, E., 1988. *The symbolic approach in clustering*. In Classification and Related Methods. North-Holland Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands.
- Donohue, G.; Yousefi, A. and Qureshi, K. 2003. Investigation of Enroute Metrics for Model Validation and Airspace Design Using TAAM, *5th Eurocontrol/FAA ATM R&D Seminar*. Budapest, Hungary.
- Dravecka, L., 2005. On The Feasibility Of Traffic Synchronization In Central European Upper Airspace. *The 6th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Baltimore, USA.
- Duda, R. O. and Hart, P. E., 1973. *Pattern classification and scene analysis*. Wiley.
- Duran, B. S. and Odell, P. L., 1974. *Cluster Analysis: A Survey*. Springer-Verlag, New York, NY.

Ehrmanntraut R. and McMillan S., 2007. Airspace Design Process For Dynamic Sectorisation. *26th DASC*. Dallas, USA.

Eurocontrol, 1991. *European Air Traffic Control Harmonization and Integration Programme (EATCHIP), Phase 1 Report*. Brussels, Belgium.

Eurocontrol, 2008. *The 2015 Airspace Concept and Strategy for the ECAC Area and Key Enablers*. Brussels, Belgium.

Eurocontrol, 2008. *Evaluation of Functional Airspace Block (FAB) initiatives and their contribution to performance Improvement*. Brussels, Belgium.

Eurocontrol, 2009. *Performance Review Report*. An Assessment of Air Traffic Management in Europe during the Calendar Year 2009. Brussels, Belgium.

Eurocontrol, 2012. *Medium-Term Forecast. Flight Movements 2012–2018*. Brussels, Belgium.

Everitt, B. S., 1980. *Cluster Analysis*. Second Edition, London: Heineman Educational Books Ltd.

Famanelli, D., 2005. A K-Partitioning Algorithm for Airspace Sectorization. *Thesis*.

Fron, X., 1998. ATM performance review in Europe. *The 2nd USA/Europe ATM Seminar*. Orlando, USA.

Gaier, E. M. and Kostiuk, P. F., 1998. Evaluating the Economic Impact of ATM Innovations on Commercial Air Carrier Operations. *The 2nd US/Europe ATM Seminar*. Orlando, USA.

Grigorak, M. and Shkvar, O. 2011. A logistic Approach for Description of Decision – Making process. *Aviation*, 15(1): 21–24. ISSN 1648-7788 print / ISSN 1822-4180 online.

Guichard, L. and Guibert, S., 2005. Shifting The ATM Paradigm: From The Use Of System Resources To The Management Of Objectives. *The 6th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Baltimore, USA.

Gwiggner, C.; Fujita, M.; Fukuda, Y.; Nagaoka, S. and Nikoleris, T., 2011. Trade-offs and Issues in Traffic Synchronization. *The 9th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Berlin, Germany.

Hartigan, J., A., 1975. *Clustering Algorithms*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Helios, 2010. *Baltic FAB Feasibility study*. Poland, Lithuania.

Helios, 2011. *Baltic FAB Implementation plan. Baltic FAB Initial development study. Baltic FAB Final development study*. Poland, Lithuania.

Heller, K. A. and Ghahramani, Z., 2005. Bayesian Hierarchical Clustering. *Gatsby Unit Technical Report GCNU-TR 2005-002*.

Howell, D.; Bennett, M.; Bonn, J. and Knorr, D., 2003. Estimating The En Route Efficiency Benefits Pool. *The 5th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Budapest, Hungary.

- Huy, T.; Baptiste, P. and Duong, V. 2003. Optimized Sectorization of Airspace with Constraints, *The 5th US/Europe ATM Seminar*. Budapest, Hungary.
- ICAO, 2005. *Global Air Traffic Management Operational Concept*. Doc 9854, AN/458.
- Irvine, R and Hering, H., 2007. Systematic air Traffic Management in a regular lattice. *The 7th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Barselona, Spain.
- Jain, A. K.; Murty M. N. and Flynn P. J., 1999. Data Clustering: A Review. *ACM Computing Surveys*, 31(3).
- Johnson S. C., 1967. Hierarchical Clustering Schemes. *Psychometrika*, 2:241–254.
- Kettunen, T.; Hustache, J.-C.; Fuller, I.; Howell, D.; Bonn, J. and Knorr, D., 2003. Flight Efficiency Studies in Europe and the United States. *The 5th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Budapest, Hungary.
- Klein, A., 2005. An Efficient Method for Airspace Analysis and Partitioning Based on Equalized Traffic Mass. *The 6th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Baltimore, USA.
- Kostiuk, P. F., 2001. Demand Management Versus Capacity Enhancement: Which Direction for Air Transportation? *The 4th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Santa Fe, USA.
- Kuchar, J., 2005. Safety Analysis Methodology For Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Collision Avoidance Systems. *The 6th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Baltimore, USA.
- Leal, P. and Odoni, A., 2005. Economic Contribution And Productivity Of ATM. *The 6th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Baltimore, USA.
- Lee, P. U.; Brasil, C.; Homola, J.; Kessell, A.; Lee, H., Mainini, M. and Prevot, T., 2011. Benefits and Feasibility of the Flexible Airspace Management Concept: A Human-in-the-loop Evaluation of Roles, Procedures, and Tools. *The 9th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Berlin, Germany.
- Legeza, E.; Selymes, P. and Torok, A., 2010. Investigation of European Air Transport Traffic by utility-based decision model. *Aviation*, 14(3): 90–94. ISSN 1648-7788.
- Lenoir, N. and Hustache, J.-C., 1997. ATC Economic Modeling. *The 1st USA/Europe ATM Seminar*. Saclay, France.
- Liang, D. and Chin, D. K., 1998. CNS/ATM Enhancements to Reduce Aircraft Emissions. *The 2nd USA/Europe ATM Seminar*. Orlando, USA.
- Little, A. D., 2000. *Study into the potential impact of changes in technology on the development of air transport in the UK*.
- Magill, S., 1998. The Effect Of Direct Routing on ATC Capacity. *The 2nd USA/Europe ATM Seminar*. Orlando, USA.
- Majumdar, A.; Ochieng, W. Y.; Bentham, J. and Richards, M., 2005. En-route sector capacity estimation methodologies: An international survey. *Journal of Air Transport Management*, 11(6), p. 375–387.

Majumdar, A.; Ochieng, W. Y.; McAuley, G.; Lenzi, J. M. and Lepadatu, C., 2004. The Factors Affecting Airspace Capacity in Europe: A Cross-Sectional Time-Series Analysis Using Simulated Controller Workload Data. *Journal of Navigation*.

Majumdar, A. and Polak, J. W., 2001. Estimating the Capacity of Europe's Airspace Using a Simulation Model of Air Traffic Controller Workload, *Transportation Research Record*, 1744, p. 30–43.

Mandal, S. and Overend, V., 1996. Assessment of capacity shortfall in the ECAC airspace through 2000–2015. *UK NATS R&D Report 9614*.

Manning, Ch. D. and Schütze, H., 1999. Foundations of Statistical Natural Language Processing. MIT Press.

Martinez, S. A.; Chatterjin, G. B.; Dengfeng S. and Bayen, A. M. 2007. A Weighted-Graph Approach for Dynamic Airspace Configuration.

Massart, D. L. and Kaufman, L., 1983. The Interpretation of Analytical Chemical Data by the Use of Cluster Analysis. New York: John Wiley & Sons, Inc.

McCulloch R.A., 1998. European and USA Operational Concepts for 2000–2010: A Framework for Comparison. The 2nd USA/Europe ATM Seminar. Orlando, USA.

Michalski, R.; Stepp, R. E. and Diday E., 1981. A recent advance in data analysis: Clustering objects into classes characterized by conjunctive concepts. *In Progress in Pattern Recognition*, Vol. 1, L. Kanal and A. Rosenfeld, Eds. North-Holland Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands.

Min, X, 2009. Airspace Sector Redesign Based on Voronoi Diagrams. *Journal of Aerospace Computing Information and Communication - J AEROSP COMPUT INF COMMUN*, vol. 6, pp. 624–634.

Mitre, 2004. CAASD Projects - Intersect Density Analysis Toolset (IDAT) Overview.

Mondoloni, S. and Liang, D., 2001. Airspace Fractal Dimensions and Applications. *The 4th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Santa Fe, USA.

Nguyen, H. L., 1989. *On the Applications of Algebraic Grid Generation Methods Based on Transfinite Interpolation*. NASA.

Perl, A.; Patterson, J. and Perez, M., 1997. Pricing aircraft emissions at Lyon-Satolas airport, *Transportation Research Part D*, 2(2), Pages 89–105.

Pomeret, J. M. and Mahlich, S., 1997. Piloting ATM Through Performance. *The 1st USA/Europe ATM Seminar*. Saclay, France.

Poppe, M. and Bolz, G., 1998. Data Flow Analysis and Optimisation Potential from Gate-to-Gate. *The 2nd USA/Europe ATM Seminar*. Orlando, USA.

Pukėnas, K., 2005. *Sportinių tyrimų duomenų analizė SPSS programa*. Kaunas:LKKA, 289 p. ISBN 9955–622–18–0.

Rebollo, J. J. and Cruz, A., 2009. Hybrid Demand and Capacity Balance Model for the Future Air Traffic Management Concept of Operations. *The 8th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Napa, USA.

Ryerson, M. S.; Hansen, M. and Bonn, B. J., 2011. Fuel Consumption and Operational Performance. *The 9th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Berlin, Germany.

Sambamoorthi, N. Hierarchical Cluster Analysis Some Basics and Algorithms. *CRM portals Inc.*, Englishtown, NJ 07726.

Sinnott, J. H. and MacReynolds, W. K., 1998. Impact of Air Traffic Management on Airspace User Economic Performance. *The 2nd USA/Europe ATM Seminar*. Orlando, USA.

Smith, R. E., 1982. Algebraic grid generation. *Applied Mathematics and Computation*. Volumes 10–11, p. 137–170.

Smith, R. E. and Wiese, M. R., 1986. Interactive Algebraic Grid, Generation Technique. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 64(1-3), p. 285–300.

Sneath, P. H. A. and Sokal, R. R., 1973. *Numerical Taxonomy*. San Francisco: Freeman.

Soler, M.; Olivares, A.; Staffetti, E. and Bonami, P., 2011. En-Route Optimal Flight Planning Constrained to Pass Through Waypoints using MINLP. *The 9th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Berlin, Germany.

Sorensen, T., 1948. A Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Sociology Based on Similarity of Species Content and Its Application to Analyses of the Vegetation on Danish Commons. *Biologiske Skrifter*, 5, 1–34.

Spath, H., 1980. *Cluster Analysis Algorithms*. Chichester, England: Ellis Horwood.

Thompson, J. F.; Warsi, Z., U., A. and Mastin, C. W., 1997. Numerical Grid Generation. *Foundations and Applications*.

Tobler, W., 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46(2): 234–240.

Trandac, H.; Baptiste, P. and Duong, V., 2003. Optimized Sectorization of Airspace with Constraints. *The 5th USA/Europe ATM R&D Seminar*. Budapest, Hungary.

Voss, W. R. and Hoffman, J., 1997. Overview of the ACS System Performance Measurement Project. *The 1st USA/Europe ATM Seminar*. Saclay, France.

Voss, W. R. and Hoffman, J., 2000. Analytical Identification of Airport and Airspace Capacity Constraints. *The 3rd USA/Europe ATM Management R&D Seminar*. Napoli, Italy.

Weidner, T. J. and Green, S., 2000. Modeling ATM Automation Metering Conformance Benefits. *The 3rd USA/Europe ATM Management R&D Seminar*. Napoli, Italy.

Westminster, 2011. European airline delay cost reference values. *Final report (version 3.2)*. For PRU, Eurocontrol. London.

Wieland, F., 1997. Limits to growth: Results from the Detailed Policy Assessment Tool. *The 1st USA/Europe ATM Seminar*. Saclay, France.

Autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Kondroška, V. and Stankūnas, J., 2012a. Analysis of the Organization of Airspace According to the Flows of Air Traffic. *Transport*, 27(3): 219–228. ISSN 1648-4142 print / ISSN 1648-3480 online (Thomson ISI Web of Science).

Stankūnas, J. ir Kondroška, V., 2009. Oro erdvės modeliavimas makroskopiniu lygiu. *Science – Future of Lithuania / Mokslas – Lietuvos ateitis*, 1 (6): 115–119. ISSN 2029-2341 print / ISSN 2029-2252 online.

Kondroška, V. ir Stankūnas, J., 2010. Lietuvos Respublikos oro erdvės reorganizavimas. *Science – Future of Lithuania / Mokslas – Lietuvos ateitis*, 2(6): 103–109. ISSN 2029-2341 print / ISSN 2029-2252 online.

Stankūnas, J. and Kondroška, V., 2012b. Formation of methodology to model regional airspace with reference to traffic flows. *Aviation*, 16(3): 69–75. ISSN 1648-7788 print / ISSN 1822-4180 online.

Kondroška, V. ir Stankūnas, J., 2012c. Vilniaus aerodromo automatizuotos antžeminio eismo stebėjimo ir kontrolės sistemos saugos tikslų analizė. *Aviation*, 16(4): – Accepted.

Kondroška, V. ir Stankūnas, J., 2012d. Lietuvos oro erdvės struktūros tobulinimas. *Aviation*, 16(4): – Accepted

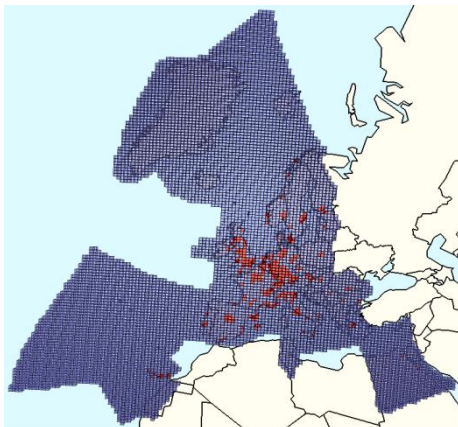
Straipsniai kituose leidiniuose

Kondroška, V. ir Stankūnas, J., 2012e. Oro eismo vadybos sistemos efektyvumo užtikrinimas regiono mastu. *Aviacijos technologijos: 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų*

konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos medžiaga. ISSN 2029-7149 online, ISBN 978-609-457-230-2 online.

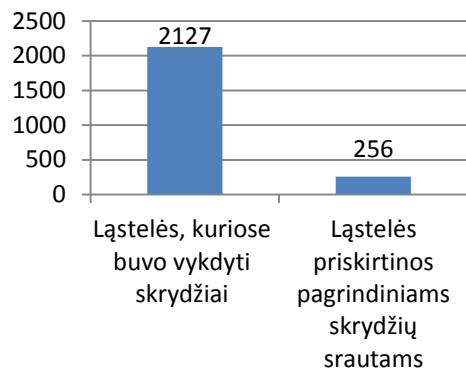
Priedai

A priedas. Svorinė gardelė oro erdvės sluoksnyje nuo žemės iki 195 skrydžių lygio



A1 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-01-28 skrydžių duomenis

Fig. A1. Weighted grid based on January 28th 2011 flight data

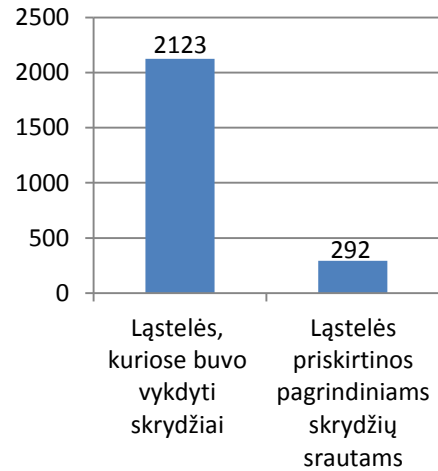


A2 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-01-28 skrydžių duomenis

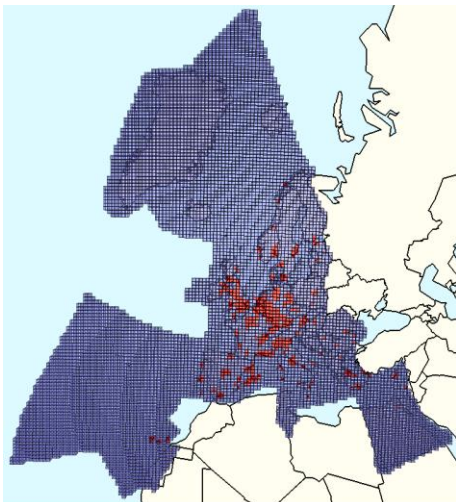
Fig. A2. Distribution of cells based on January 28th 2011 flight data



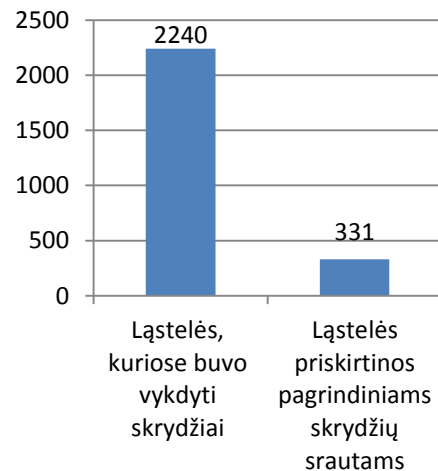
A3 pav. Svorinė gardelė pagal
2011-04-15 skrydžių duomenis
Fig. A3. Weighted grid based on April
15th 2011 flight data



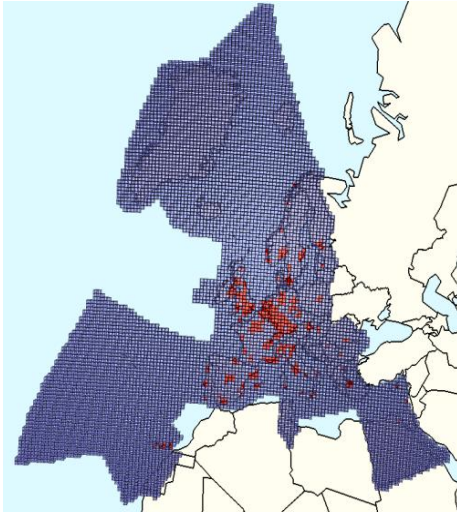
A4 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal
2011-04-15 skrydžių duomenis
Fig. A4. Distribution of cells based on
April 15th 2011 flight data



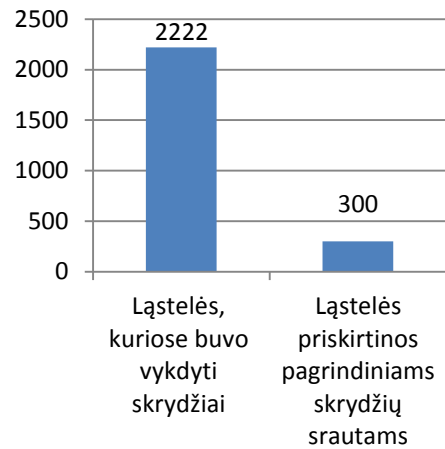
A5 pav. Svorinė gardelė pagal
2011-07-01 skrydžių duomenis
Fig. A5. Weighted grid based on July 1st
2011 flight data



A6 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal
2011-07-01 skrydžių duomenis
Fig. A6. Distribution of based on
July 1st 2011 flight data

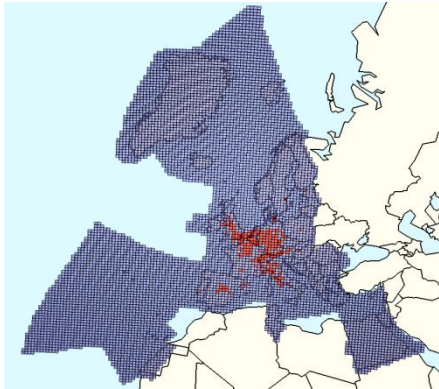


A7 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-10-14 skrydžių duomenis
Fig. A7. Weighted grid based on October 14th 2011 flight data



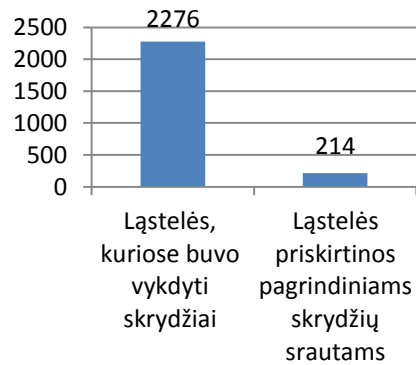
A8 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-10-14 skrydžių duomenis
Fig. A8. Distribution of cells based on October 14th 2011 flight data

B priedas. Svorinė gardelė oro erdvės sluoksnyje nuo 195 iki 285 skrydžių lygio



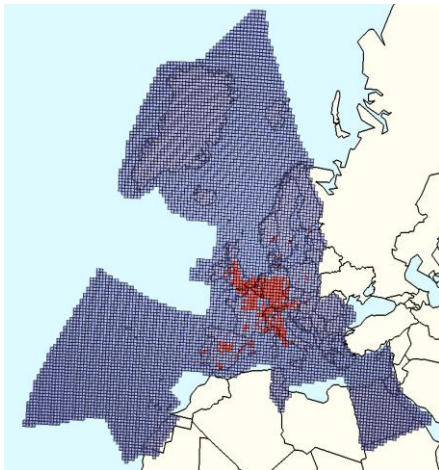
B1 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-01-28 skrydžių duomenis

Fig. B1. Weighted grid based on January 28th 2011 flight data



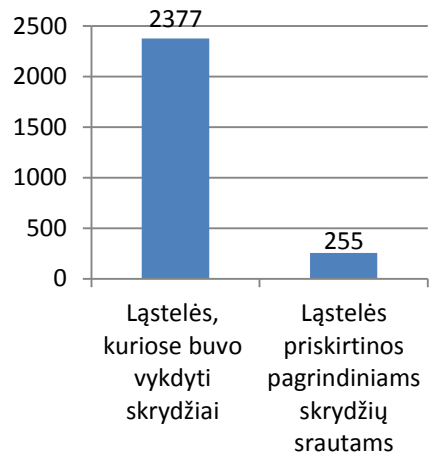
B2 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-01-28 skrydžių duomenis

Fig. B2. Distribution of cells based on January 28th 2011 flight data



B3 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-04-15 skrydžių duomenis

Fig. B3. Weighted grid based on April 15th 2011 flight data

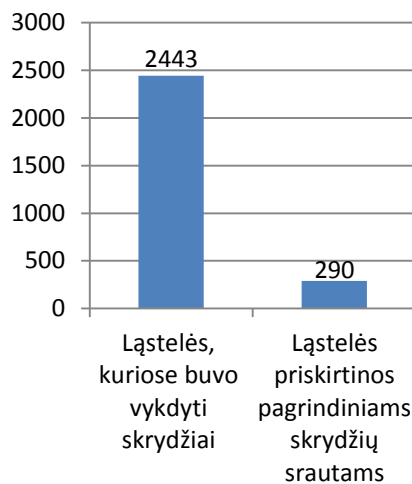


B4 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-04-15 skrydžių duomenis

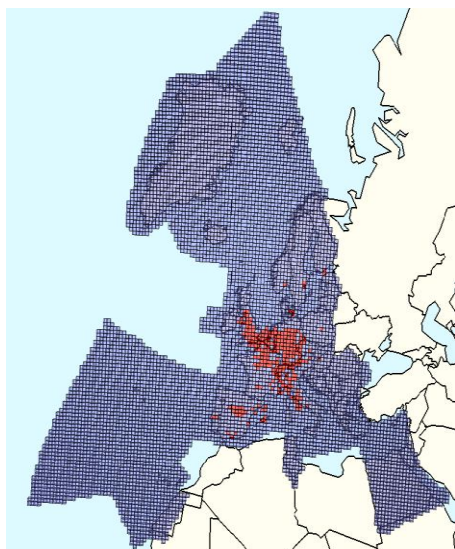
Fig. B4. Distribution of cells based on April 15th 2011 flight data



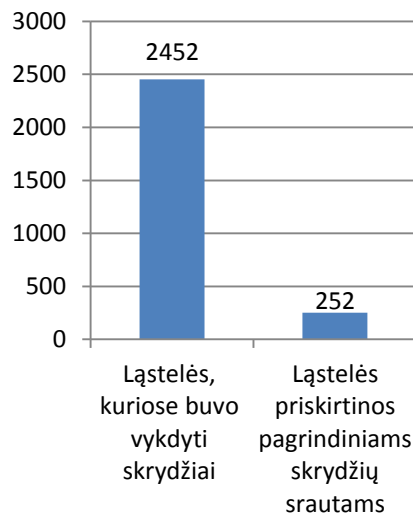
B5 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-07-01 skrydžių duomenis
Fig. B5. Weighted grid based on July 1st 2011 flight data



B6 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-07-01 skrydžių duomenis
Fig. B6. Distribution of cells based on July 1st 2011 flight data

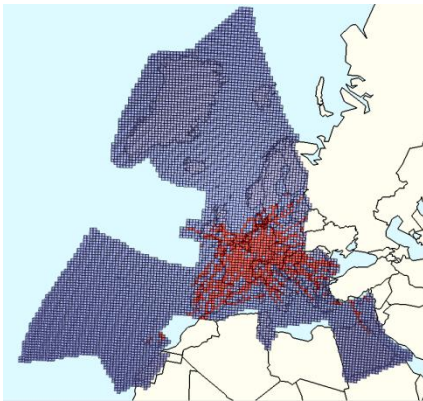


B7 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-10-14 skrydžių duomenis
Fig. B7. Weighted grid based on October 14th 2011 flight data



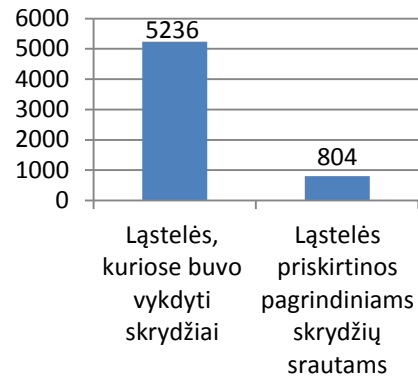
B8 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-10-14 skrydžių duomenis
Fig. B8. Distribution of cells based on October 14th 2011 flight data

C priedas. Svorinė gardelė oro erdvės sluoksnyje nuo 285 iki 415 skrydžių lygio



C1 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-01-28 skrydžių duomenis

Fig. C1. Weighted grid based on January 28th 2011 flight data



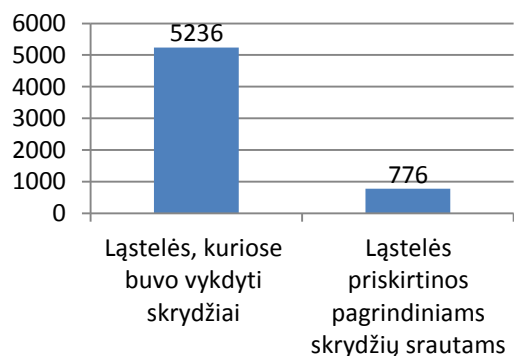
C2 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-01-28 skrydžių duomenis

Fig. C2. Distribution of cells based on January 28th 2011 flight data



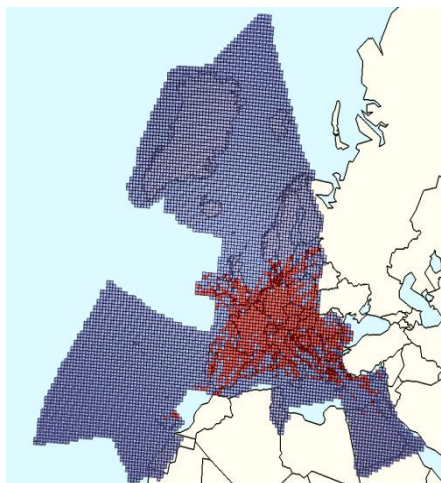
C3 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-04-15 skrydžių duomenis

Fig. C3. Weighted grid based on April 15th 2011 flight data

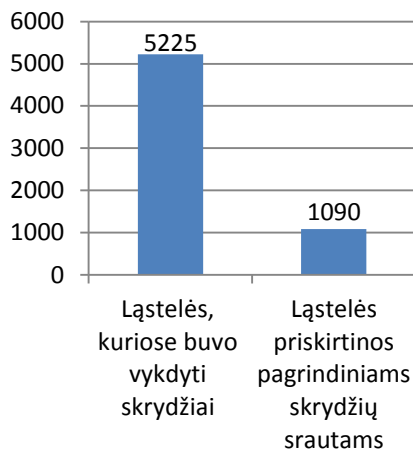


C4 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011 04 15 skrydžių duomenis

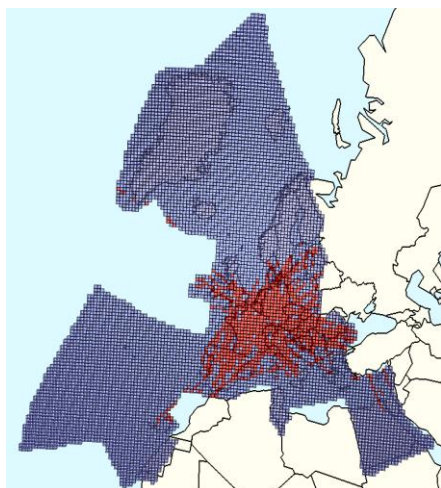
Fig. C4. Distribution of cells based on April 15th 2011 flight data



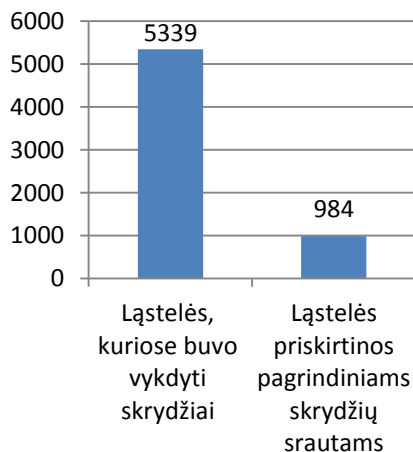
C5 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-07-01 skrydžių duomenis
Fig. C5. Weighted grid based on July 1st 2011 flight data



C6 pav. Svorinės gardelės ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-07-01 skrydžių duomenis
Fig. C6. Distribution of cells based on July 1st 2011 flight data

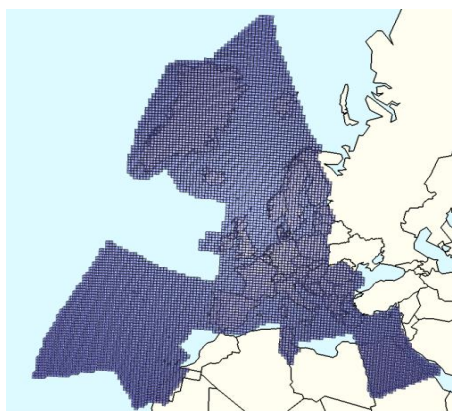


C7 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-10-14 skrydžių duomenis
Fig. C7. Weighted grid based on October 14th 2011 flight data



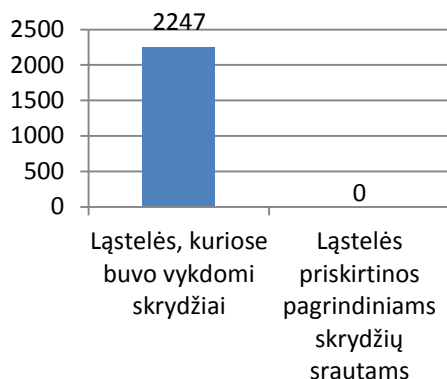
C8 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-10-14 skrydžių duomenis
Fig. C8. Distribution of cells based on October 14th 2011 flight data

D priedas. Svorinė gardelė oro erdvės sluoksnyje nuo 415 iki 660 skrydžių lygio



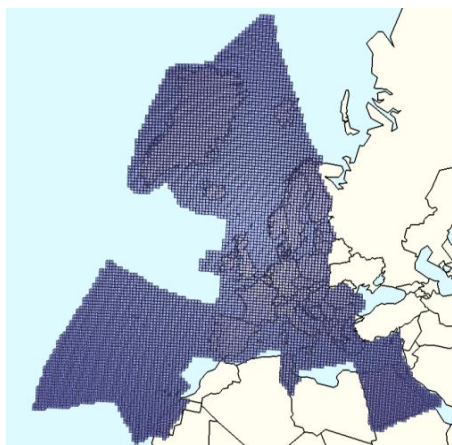
D1 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-01-28 skrydžių duomenis

Fig. D1. Weighted grid based on January 28th 2011 flight data



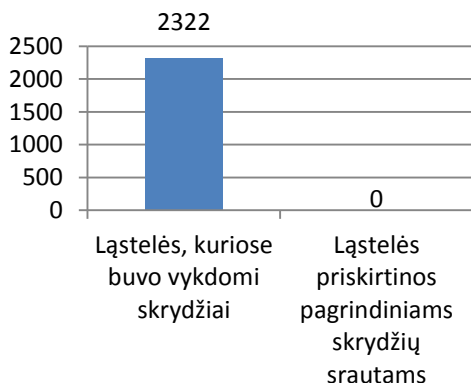
D2 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-01-28 skrydžių duomenis

Fig. D2. Distribution of cells based on January 28th 2011 data



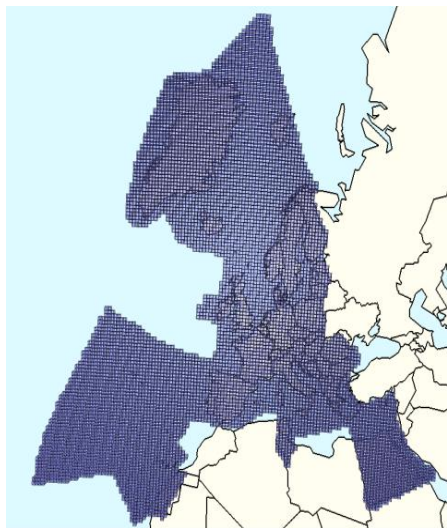
D3 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-04-15 skrydžių duomenis

Fig. D3. Weighted grid based on April 15th 2011 flight data



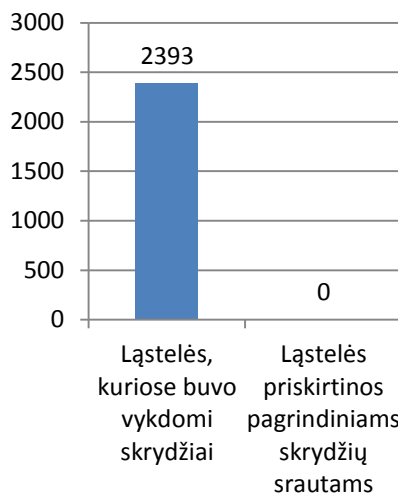
D4 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-04-15 skrydžių duomenis

Fig. D4. Distribution of cells based on April 15th 2011 data



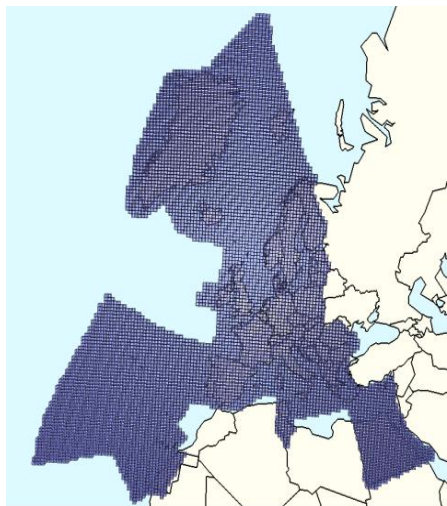
D5 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-07-01 skrydžių duomenis

Fig. D5. Weighted grid based on July 1st 2011 flight data



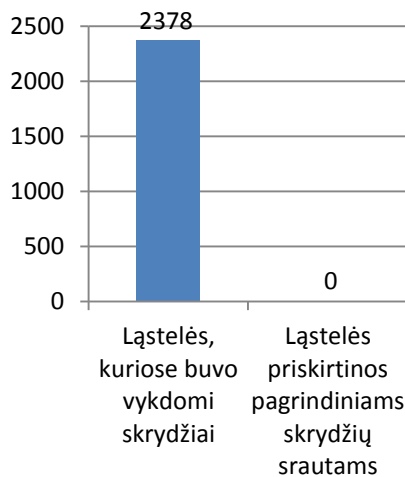
D6 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-07-01 skrydžių duomenis

Fig. D6. Distribution of cells based on July 1st 2011 flight data



D7 pav. Svorinė gardelė pagal 2011-10-14 skrydžių duomenis

Fig. D7. Weighted grid based on October 14th 2011 flight data



D8 pav. Ląstelių pasiskirstymas pagal 2011-10-14 skrydžių duomenis

Fig. D8. Distribution of cells based on October 14th 2011 flight data

E priedas. Klasterių formavimo duomenys

E1 lentelė. Gardelės ląstelių skirstymas į devynis klasterius

Table E1. Distribution of Cells into nine Clusters

Klasterių sk.	Gardelės ląstelių sk.	Procentinė dalis
1	1136	15,4
2	347	4,7
3	1077	14,6
4	634	8,6
5	583	7,9
6	1018	13,8
7	900	12,2
8	959	13
9	723	9,8

E2 lentelė. Gardelės ląstelių skirstymas į aštuonis klasterius

Table E2. Distribution of Cells into eight Clusters

Klasterių sk.	Gardelės ląstelių sk.	Procentinė dalis
1	1770	24
2	347	4,7
3	1077	14,6
4	583	7,9
5	1018	13,8
6	900	12,2
7	959	13
8	723	9,8

E3 lentelė. Gardelės ląstelių skirstymas į septynis klasterius

Table E3. Distribution of Cells into seven Clusters

Klasterių sk.	Gardelės ląstelių sk.	Procentinė dalis
1	1770	24
2	1424	19,4
3	583	7,9
4	1018	13,8
5	900	12,2
6	959	13
7	723	9,8

E4 lentelė. Gardelės ląstelių skirstymas į šešis klasterius

Table E4. Distribution of Cells into six Clusters

Klasterių sk.	Gardelės ląstelių sk.	Procentinė dalis
1	1918	26
2	1350	18,3
3	1313	17,8
4	1217	16,5
5	1210	16,4
6	369	5

E5 lentelė. Gardelės ląstelių skirstymas į penkis klasterius

Table E5. Distribution of Cells into five Clusters

Klasterių sk.	Gardelės ląstelių sk.	Procentinė dalis
1	1918	26
2	1350	18,3
3	1313	17,8
4	1586	21,5
5	1210	16,4

E6 lentelė. Gardelės ląstelių skirstymas į keturis klasterius

Table E6. Distribution of Cells into four Clusters

Klasterių sk.	Gardelės ląstelių sk.	Procentinė dalis
1	2353	31,9
2	1431	19,4
3	1977	26,8
4	1616	21,9

E7 lentelė. Gardelės ląstelių skirstymas į tris klasterius

Table E7. Distribution of Cells into three Clusters

Klasterių sk.	Gardelės ląstelių sk.	Procentinė dalis
1	2353	31,9
2	3408	46,1
3	1616	21,9

E8 lentelė. Gardelės ląstelių skirstymas į du klasterius

Table E8. Distribution of Cells into two Clusters

Klasterių sk.	Gardelės ląstelių sk.	Procentinė dalis
1	3969	53,9
2	3408	46,1

F priedas. Svorinės gardelės ląstelių duomenų pavyzdžiai

```

5 3247.639 -812.002 66.000 285.000 660.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 320 4294901900 0 9169
3247.6394 -812.0021
3279.3681 -820.7169
3284.7829 -759.8013
3252.9899 -751.8219
3247.6394 -812.0021
5 3252.990 -751.822 75.000 285.000 660.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 320 4294901900 0 9170
3252.9899 -751.8219
3284.7829 -759.8013
3289.7075 -698.6367
3257.8559 -691.4018
3252.9899 -751.8219
5 3257.856 -691.402 92.000 285.000 660.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 320 4294901900 0 9171
3257.8559 -691.4018
3289.7075 -698.6367
3294.1391 -637.2455
3262.2345 -630.7634
3257.8559 -691.4018
5 3262.235 -630.763 84.000 285.000 660.000 0.000 0.000 0.000
0.000 0.000 320 4294901900 0 9172
3262.2345 -630.7634
3294.1391 -637.2455
3298.0753 -575.6506
3266.1236 -569.9287
3262.2345 -630.7634

```

F1 pav. Svorinės gardelės ląstelių duomenų pavyzdys
Fig. F1. Example of Weighted grid Cell Data

Geografinė platuma	Geografinė ilguma	Skrydžių sk.	Svorinė klasė	Gardelės referencinis Nr.
1.124.462	-1.152.079	0.000	1	173
1.144.241	-1.190.858	0.000	1	308
1.151.619	-1.158.979	0.000	1	309
1.158.784	-1.126.988	0.000	1	310
1.165.737	-1.094.889	1.000	1	311
1.171.414	-1.198.047	7.000	2	444
1.178.869	-1.165.970	0.000	1	445
1.186.109	-1.133.780	0.000	1	446
1.193.134	-1.101.479	1.000	2	447
1.199.941	-1.069.069	0.000	1	448
1.236.118	-872.506	0.000	1	454
1.190.933	-1.237.487	0.000	1	579
1.198.679	-1.205.330	0.000	1	580
1.206.211	-1.173.055	7.000	2	581
1.213.527	-1.140.662	0.000	1	582
1.220.625	-1.108.157	1.000	2	583
1.227.504	-1.075.541	1.000	2	584
1.234.160	-1.042.817	3.000	2	585
1.240.594	-1.009.989	0.000	1	586
1.246.802	-977.060	0.000	1	587

F2 pav. Svorinės gardelės ląstelės reprezentuojančių taškų duomenys
Fig. F2. Data of the representing points of Common Weighted grid Cells

G priedas. Projektų disertacijos tema sąrašas, kuriuose autorius dalyvavo

2010–2011 m. galimybių studijos "Nustatyti Lietuvai optimalų funkcinį oro erdvės bloką" koordinatorius:

- institucinės ir teisinės aplinkos analizė;
- tiriamų scenarijų vertinimas ir rekomendacijos;
- rekomenduojamų įdiegimo schemų pateikimas.

2010–2011 m. Baltijos FAB (kurią pradinėje studijoje sudarytų Lietuva ir Lenkija) galimybių studiją, kuri buvo rengiama bendrai Lietuvos ir Lenkijos valstybių (Lietuvos pusės ekspertas):

- Baltijos FAB galimybių studija;
- Baltijos FAB įdiegimo planas;
- Baltijos FAB pirminio vystymosi studija;
- Baltijos FAB tolimesnio vystymosi studija.

Nuo 2010 m. Baltijos FAB iniciatyvos (Lietuva ir Lenkija) strateginės-ekonominės darbo grupės narys.

Nuo 2010 m. FAB diegimo projekto (VĮ "Oro navigacija") vadovo pavaduotojas.

Nuo 2011 m. Baltijos FAB iniciatyvos (Lietuva ir Lenkija) programos biuro (angl. Programme Management Office (PMO)) ekspertas.

Vaidotas KONDROŠKA

REGIONINIŲ ORO ERDVĖS BLOKŲ FORMAVIMO
REMIANTIS SKRYDŽIŲ SRAUTAIŠ
METODIKOS SUKŪRIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,
Transporto inžinerija (03T)

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY
FOR THE FORMATION OF REGIONAL AIRSPACE
BLOCKS ACCORDING TO TRAFFIC FLOWS

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,
Transport Engineering (03T)

2012 11 16. 11,75 sp. l. Tiražas 20 egz.
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“,
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Ciklonas“
J. Jasinskio g. 15, 01111 Vilnius