

ORO ERDVĖS MODELIAVIMAS MAKROSKOPINIU LYGIU

Jonas Stankūnas¹, Vaidotas Kondroška²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹jonas.stankunas@vgtu.lt; ²vaidotas.kondroska@vgtu.lt

Santrauka. Darbe apžvelgiami naujausi ir progresyviusi oro erdvės tyrimų metodai makroskopiniu lygiu. Nurodomos stipriosios ir silpnosios šių metodų pusės. Kadangi šiuo metu Europoje įgyvendinama Bendro dangaus iniciatyva (toliau – SES), kurios vienas iš kertinių tikslų – funkciniai oro erdvės blokai (toliau – FAB), sumažinsiančių Europos regiono oro erdvės susiskaidymą, sukūrimas, ši tema yra labai aktuali. Straipsnyje nurodomos sritys, kurios turėtų būti įvertinamos, užtikrinant sudaromų funkciniai oro erdvės blokų funkcionalumą. Pagrindinis tyrimo tikslas – sudaryti pagrindą teoriniam eksperimentui šioje srityje.

Reikšminiai žodžiai: oro erdvės analizė, funkciniai oro erdvės blokai, oro kelių tinklas, oro erdvės modeliavimas.

Įvadas

Paprastai skrydžiai yra atliekami ne vienos, o kelių ar net keliolikos šalių oro erdvėje, todėl, planuojant atlikti didesnius pokyčius vienos šalies oro erdvėje, reikia turėti omenyje, kad tai gali turėti įtakos ne tik oro erdvės naudotojams, bet ir visai oro eismo vadybos sistemai (toliau – OEV) regione.

Paskutiniu metu vykusi sparti aviacijos plėtra ir daugelyje pasaulio regionų didėjantis skrydžių intensyvumas verčia didinti OEV galimybes. Viena iš OEV sričių, kuri dėl įvairių priežasčių vis dar nėra visiškai panaudojama, yra oro erdvė. Optimalus jos organizavimas, ypač jei tai būtų atliekama regiono mastu, leistų optimizuoti skrydžių vykdymą, geriau patenkinti visų oro erdvės naudotojų poreikius, padėtų išvengti nereikalingo energetinių išteklių naudojimo ir tuo mažintų atmosferos taršą.

Yra svarbu, kad planuojami pokyčiai ne tik užtikrintų reikiamą oro erdvės pralaidumą ar skrydžio sąlygų pagerinimą, bet ir reikiamą skrydžių saugos lygį. Planuojamų pokyčių OEV sistemoje įvertinimas jau ankstyvoje tyrimo fazėje turi didelę svarbą, nes tai leistų atlikti pirminį galimų tyrimo alternatyvų filtravimą (Blom *et al.* 1999).

Numatomos prognozės dėl skrydžių skaičiaus augimo Europos regione, Europos Sąjungos plėtra ir šiuolaikinės Europos OEV sistemos galimybės tapo atspirties tašku planuojant vienalytės oro erdvės plėtrą Europoje. Siekiant panaikinti Europos regiono oro erdvės struktūros fragmentaciją, dėl šio regiono oro erdvės susiskaidymo į atskirų šalių oro erdves – skrydžių informacijos regionus

(kai kurių šalių oro erdvę sudaro keli skrydžių informacijos regionai), šiuo metu Europos Sąjungoje (toliau – ES) įgyvendinama SES koncepcija. Ši iniciatyva numato sudėtinių oro erdvės junginių stambinimą, kas, be to, sudarytų sąlygas teikiamų oro navigacinių paslaugų kokybės, efektyvumo ir ekonomiškumo gerinimui bei esamos Europos regiono oro eismo vadybos sistemos tobulinimui, kad ši tinkamai funkcionuotų bei ateityje atitiktų oro erdvės naudotojų lūkesčius.

Pažangiausia ir efektyviausia šiuo metu yra Jungtinių Amerikos Valstijų (toliau – JAV) OEV sistema, kuri pagal valdomą oro erdvės plotą yra labai panaši į Europos regioną ir nesunkiai aptarnauja kelis kartus didesnę orlaivių srautą. Tačiau žiūrėdami į ateitį tiek mokslininkai Europoje, tiek ir JAV stengiasi nagrinėti ir ieškoti optimalių oro erdvės organizavimo būdų.

Tyrimo metu bus siekiama nustatyti būdus ir sąlygas optimaliam oro erdvės organizavimui SES įgyvendinti, t.y. nustatyti oro erdvę horizontalioje ir vertikalioje plokštumose, kurią tikslinga būtų nagrinėti tyrimo metu, pasirinkti jos diskretizavimo būdą ir nustatyti reikalavimus, apskaičiuoti optimalų FAB, atitinkančių pagrindinius skrydžių srautus, skaičių bei nustatyti jų ribas.

Naujausi tyrimai

Pasaulinėje mokslinėje literatūroje ieškoma būdų, galinčių pagerinti oro erdvės struktūrą. Valdamosios oro erdvės organizavimas yra tiesiogiai susijęs su oro eismo paslaugų teikimu, o vienas pagrindinių veiksnių yra oro eismo paslaugas konkrečiame skrydžių valdymo sektoriu-

je teikiančio skrydžių vadovo darbo krūvis, pagal kurį oro erdvė dalinama į skrydžių valdymo sektorius.

Dažnai oro erdvės organizavimui optimizuoti yra taikomas grafo dalinimo metodas, visą dėmesį skiriant oro kelių tinklui. Šio metodo taikymas oro erdvės organizavimui leidžia įvertinti skrydžių vadovo darbo krūvį su atitinkamoje oro erdvės dalyje įtakojančiais veiksniais, pavyzdžiui skrydžių duomenų koordinavimu su kaimyniniais skrydžių valdymo centrais (toliau – SVC) ar sektoriais. Tokiu būdu, panaudojant matematinį algoritmą su tam tikrais apribojimais, leidžiantį skrydžių valdymo sektoriams nustatyti optimalų oro kelių tinklą, galima minimizuoti ar harmonizuoti skrydžių valdymo sektorių ribas (Delahaye *et al.* 1998).

Gana įdomūs rezultatai gaunami oro erdvės analizėje remiantis skrydžių maršrutų susikirtimais nagrinėjamoje oro erdvėje (MITRE 2004). Tyrimas grindžiamas tuo, kad skrydžių maršrutų analizė, palyginti su oro kelių tinklo analize ar radariniu skrydžių pavaizdavimu, leidžia tiksliau modeliuoti skrydžių srautų pavaizdavimą nagrinėjamoje oro erdvėje ir tiksliau įvertinti skrydžių vadovo darbo krūvį skrydžių valdymo sektoriuje. Atlikto tyrimo rezultatai rodo, kad šio metodo taikymas leidžia įvertinti tiek skrydžių pasiskirstymą, tiek ir skrydžių vadovo darbo krūvį kiekviename skrydžių valdymo sektoriuje. Taikant šį metodą ir „tuščio lapo“ oro erdvės organizavimo principą, siekiama JAV oro erdvę pritaikyti 2010 metais prognozuojamam skrydžių srautui aptarnauti (Conker *et al.* 2007).

Nagrinėjant oro erdvės optimizavimo klausimus pradėti taikyti jau seniai kitose transporto srityse plačiai taikomi, grafų klasteriavimo metodai.

Taikant šį metodą daroma prielaida, kad yra glaudus ryšys tarp oro kelių tinklo ir skrydžių sudėtingumo skrydžių valdymo sektoriuje (Huy *et al.* 2003). Pagal šią prielaidą ir panaudojant grafų klasteriavimo metodą, oro erdvė vertinama kaip oro kelių tinklas, o ne kaip oro erdvės tūris.

Neseniai oro erdvės tyrimuose pradėtas taikyti oro erdvės sudalinimas mozaikos principu, o mozaikos ląstelių priskyrimas atliekamas taikant „svorinio“ grafo metodą. Viename naujausių oro erdvės tyrimų šiuo metodu analizuojamos JAV dinaminio oro erdvės konfigūravimo galimybės; buvo siekiama skrydžių valdymo sektorius sudaryti atsižvelgiant į skrydžių intensyvumą bei skrydžių vadovo darbo krūvį (Martinez *et al.* 2003). Tyrimo metu nagrinėta oro erdvė buvo sudalinta į vienodų keturkampių ląstelių mozaiką. Taip pat sudarytas vykdomų skrydžių grafas, kuris toliau, iki reikiamo dalinimo kriterijaus padalintas į du pograpius ir tai leidžia apskaičiuoti

kiekvieno pografo „svorį“. Pasikartojantis spektrinio dalinimo į dvi dalis metodo taikymas ir svorio apskaičiavimo rezultatai suformavo galutinį pograpių rinkinį. Pograpių priskyrimas keturkampėms oro erdvės ląstelėms, atliktas naudojant mozaikos ląstelių „svorio“ nustatymo ir priskyrimo matricas. Kadangi tyrimo metu buvo operuojama oro erdvės mozaika, sudaryta iš smulkių ląstelių (2D plokštumoje kvadratais su 5 jūrmylių kraštinėmis), kurios vėliau buvo jungiamos į didesnius oro erdvės sektorius, kai kuriose vietose buvo gauti gana ištįsę skrydžių valdymo sektoriai.

Kitame tyrime atliekant JAV oro erdvėje esančių oro kelių analizę, oro erdvės sudalinimui naudota mozaika, sudaryta iš šešiakampių ląstelių (Donohue *et al.* 2003). Šešiakampių ląstelių panaudojimas oro erdvės tyrime turi savų privalumų, nes, taikant klasteriavimo metodus, oro erdvės dariniai sudaryti iš tokių ląstelių kur kas tiksliau gali būti plečiami visomis kryptimis, nei panaudojant mozaikas, sudarytas iš keturkampių ar trikampių ląstelių. Tik iš šešiakampių ląstelių sudarytoje mozaikoje ląstelė ribojasi su kaimynine ląstele vertikalia, horizontalia ir įstriža kryptimis. Šio tyrimo metu mozaikos šešiakampės ląstelės buvo vertinamos kaip skrydžių valdymo sektoriai ir kiekvienoje iš jų siekiant nustatyti skrydžių vadovo darbo krūvį, buvo taikomi standartiniai būdai. Taip pat naudotas klasteriavimo algoritmas. Tyrimas rodo, kad oro erdvės analizėje naudojant mozaiką, sudarytą iš šešiakampių ląstelių, galima gerokai tiksliau įvertinti oro erdvės sektorius, turinčius gaubtą formą, palyginti su mozaiką, sudaryta iš keturkampių ląstelių.

Be keturkampių ar šešiakampių mozaikos ląstelių oro erdvės analizėje naudojamos ir dvigubos mozaikos (Klein 2005). Oro erdvės sudalinimas į SVC oro eismo paslaugų oro erdvės šiame darbe grindžiamas vienodu (ar beveik vienodu) pranešimų apie skrydžius skaičiumi, tenkančiu kiekvienam iš SVC. Pagal šį principą, jei SVC skrydžiai yra intensyvuūs – jo oro eismo paslaugų oro erdvė yra mažesnė už tų SVC oro eismo paslaugų oro erdvę, kuriuose skrydžiai yra mažiau intensyvuūs. Toks pat principas tyrime buvo taikomas ir nustatant skrydžių valdymo sektorių ribas SVC viduje.

Taikant šį metodą yra gana sudėtinga pasirinkti reikiamą mozaiką. Pranešimai apie orlaivių buvimo vietą yra identifikuojami pagal koordinatas (platuma/ilguma) ir aukštį. Nustatyti taikinio aukštį nėra sudėtinga, tačiau tiksliai nustatyti atitinkamą mozaikos šešiakampę ląstelę yra neįmanoma. Tai galima atlikti naudojant mozaiką iš keturkampio formos ląstelių. Dėl labai didelio pranešimų skaičiaus papildomo tikslumo reikalauja ir skaičiavimams naudojamas algoritmas. Įvertinant aukščiau minimus

uždavinius, tyrimo metu naudotas algoritmas, sujungiantis mozaiką, sudarytą iš šešiakampio ir keturkampio formos ląstelių. Toks sprendimas padeda nustatyti, kuriai šešiakampio formos ląstelei turi būti priskiriamas atitinkamas pranešimas apie orlaivio buvimo vietą. Be to, pačios mozaikos ląstelės yra šiek tiek nevienodo dydžio – kuo toliau į šiaurę, tuo jos siauresnės arčiau ekvatoriaus esančių mozaikos ląstelių atžvilgiu. Taip pat mozaikos ląstelės nėra visiškai simetriškos: jos gali būti šiek tiek siauresnės ar platesnės. Tačiau autorių teigimu, nė viena iš šių priežasčių neįtakoja algoritmo ar jo rezultatų tikslumo. Siekiant sulyginti tyrimo metu gautus rezultatus, mozaikos ląstelių „svoris“ buvo vertinamas atsižvelgiant ne į bendrą pranešimų apie skrydžius skaičių kiekvienoje iš mozaikos ląstelių, bet vertinant maksimalų pranešimų skaičių per tam tikrą laiko intervalą kiekvienoje iš jų. Kaip rodo tyrimų rezultatai, skirtumas tarp abiejų metodų nėra didelis. Pagrindiniai šio tyrimo trūkumai: nėra užtikrinamas visiškas skrydžių vadovų darbo krūvio įvertinimas; būtina nurodyti tiksliai SVC vietas, apie kuriuos ir yra formuojami oro erdvės blokai.

Oro erdvės analizei taikomų tyrimų metodų analizė rodo, kad progresyvus ir gana tikslus yra oro erdvės dalinimui naudojamas mišrių mozaikų taikymas, taip pat ir grafų metodas, tačiau dauguma iš iki šiol naudotų metodų turi ir tam tikrų savų trūkumų.

Teisinės oro erdvės stambinimo aplinkybės Europos regione

Suvienodinus daugelį OEV taikomų procedūrų ir techninių reikalavimų, ES atsirado galimybė pradėti oro erdvės stambinimą. ES teisiniu pagrindu stambinti oro erdvės blokus ar jungti skirtingų ES šalių narių oro erdvę tapo SES iniciatyva. SES iniciatyvos tikslas – sugriežtinti Europos oro eismo saugos standartus ir padidinti bendrą OEV efektyvumą, padidinti OEV pralaidumą, maksimaliai patenkinant visų oro erdvės naudotojų poreikius ir iki minimumo sumažinti vėlavimus.

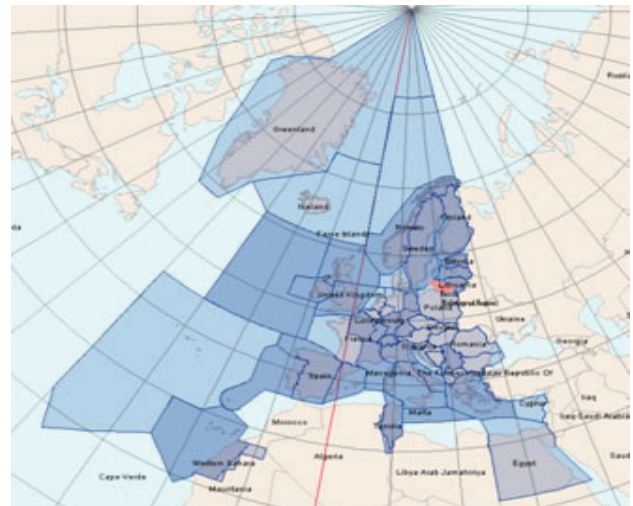
Būtent Europos Parlamento ir Tarybos 2004-03-10 reglamentas (EB) Nr. 551/2004 Europos Sąjungos šalis teisiškai įpareigojo pradėti diegti FAB bei nustatė pagrindines jų savybes (Europos... 2004). FAB turi:

- būti pagrįsti saugos studija;
- užtikrinti optimalų oro erdvės naudojimą, atsižvelgiant į oro eismo srautus;
- užtikrinti bendrą pridėtinę vertę, įskaitant optimalų techninių ir žmogiškųjų išteklių panaudojimą remiantis ekonominės naudos analize;

- užtikrinti sklandų ir lankstų atsakomybės už skrydžių valdymą perdavimą tarp skrydžio valdymo padalinių;
- užtikrinti viršutinės ir apatinės oro erdvės konfigūracijos atitikimą;
- atitikti sąlygas, susijusias su Tarptautinės civilinės aviacijos organizacijos (toliau – ICAO) sudarytais regioniniais susitarimais;
- atitikti reglamento įsigaliojimo dieną esamus regioninius susitarimus, pirmiausia susijusius su Europos trečiosiomis šalimis.

Oro erdvė horizontalioje plokštumoje

Tyrimo metu tikslinga būtų analizuoti ne tik SES iniciatyvoje dalyvaujančių šalių oro erdvę, tačiau ir oro erdvę, kurios dalyvavimas šioje iniciatyvoje ženkliai dalimi pasitarnautų regiono OEV sistemos gerinimui (1 pav.).



1 pav. Tyrimo metu nagrinėjama oro erdvė

Fig. 1. Analysed airspace

Analizė rodo, kad siekiant praktinio pritaikymo tyrimo metu turėtų būti analizuojami du oro erdvės horizontalioje plokštumoje scenarijai:

- oro erdvė sudaryta iš SES iniciatyvoje dalyvaujančių šalių SIR, kurios plotas 8112247,6 NM², o nagrinėjama oro erdvė apimtų Airijos, Albanijos, Austrijos, Belgijos, Bosnijos-Hercogovinos, Bulgarijos, Čekijos Respublikos, 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 ir Vokietijos skrydžių informacijos regionus (SIR).

- oro erdvė sudaryta iš SES iniciatyvoje dalyvaujančių šalių SIR bei Rusijos Federacijos (Kaliningrado srities) ir Airijos okeaninės oro erdvės SIR. Šio scenarijaus metu nagrinėjamos oro erdvės plotas – 8803507,8 NM².

Nors Rusijos Federacijos Kaliningrado srities SIR oro erdvės dalyvavimas šiuo metu dėl politinių aplinkybių yra gana problemiškas, tačiau be galo svarbus jį supančioms ES šalims (Lietuvai, Lenkijai ir Švedijai) ir tuo pačiu – visam Baltijos regionui. Žiūrint į ateitį, vienokia ar kitokia teisine forma neatmestinas šios oro erdvės įtraukimas į SES iniciatyvą, todėl jos analizavimas tyrimo metu atitiks ilgalaikio planavimo tikslus.

Oro erdvė vertikaloje plokštumoje

Orlaivių aukštėjimo ir žemėjimo metu jų skrydžio profilis nuolat kinta, o skrendant kreiseriniame aukštyje toks jų skrydžio profilio kitimas yra nedidelis. Dėl egzistuojančių skrydžio fazių skirtumų ir ypatybių vertikaloje plokštumoje skiriasi ir oro eismo paslaugų teikimo ypatybės.

Pagal ICAO reikalavimus, oro erdvę į žemutinę ir aukštutinę sąlyginai dalina 195 skrydžių lygis (toliau – SL), planuojant oro erdvės stambinimą Europos regione SES 1 teisiniame pakete žemutinę ir aukštutinę oro erdves skiriančia riba buvo nustatytas 285 SL. Ši riba tiksliau atskiria orlaivius, skrendančius kreiseriniame aukštyje, nuo aukštėjančių ir žemėjančių orlaivių.

Analizė rodo, kad siekiant įvertinti atskirų skrydžių fazių ypatumus, oro erdvę vertikaloje plokštumoje turėtų būti analizuojama 3 sluoksniuose:

- nuo 0 iki 195 SL;
- nuo 195 SL iki 285 SL;
- nuo 285 SL iki 660 SL.

Oro kelių tinklas

Dėl įvairių priežasčių dabartinis oro kelių tinklas Europos regione nėra idealus, bet, palyginti, gana efektyvus (2 pav.). Pagal esamus paskaičiavimus, dabartinis Europos regiono oro kelių tinklas tik apie 5 % skiriasi nuo pačių tiesiausių trajektorijų. Tai nedaug skiriasi nuo trajektorijų, kuriomis orlaiviai skraidytų įgyvendinus „laisvų skrydžių“ koncepciją.

Analizė rodo, kad tyrimo metu reikėtų taikyti labiau „laisvų skrydžių“ koncepciją atitinkantį oro kelių tinklą, todėl dabartinis oro kelių tinklas turėtų būti papildytas tiesioginiais oro keliais, jungiančiais 50 pagrindinių oro uostų porų Europos regione.



2 pav. Dabartinis oro kelių tinklas Europos regione

Fig. 2. Current airways network in Europe

Atlikus tokius pakeitimus, oro kelių tinklas beveik atitiks tiesiausias trajektorijas Europos regione skraidantiems orlaiviams.

Funkcinių oro erdvės blokų formavimo papildomos sąlygos

Siekiant, kad nagrinėjamoje oro erdvėje formuojami FAB padėtų išvengti šiuo metu egzistuojančių ar galimų sunkumų saugiam, efektyviam ir ekonomiškam oro erdvės panaudojimui, būtina atlikti šiuos veiksmus:

- į FAB suskirstyti visą valdomąją oro erdvę (viršutinę ir žemutinę – nuo žemės paviršiaus iki 660 SL);
- oro erdvę vertikaloje plokštumoje analizuoti trijuose sluoksniuose: nuo 0 iki 195 SL, nuo 195 SL iki 285 SL ir nuo 285 SL iki 660 SL;
- užtikrinti, kad FAB aukštutinės oro erdvės šoninės ribos sutaptų su jo žemutinės oro erdvės šoninėmis ribomis;
- naudoti oro kelių tinklą, labiau atitinkantį „laisvų skrydžių“ koncepciją;
- užtikrinti, kad oro erdvė, reikalinga artėjančių tūpti orlaivių srauto organizavimui apie šiuo metu egzistuojančius tarptautinius oro uostus, nuolatinių ir laikinai išskiriamų zonų kariniams, šalies saugumo ar kitiems tikslams oro erdvė, o taip pat draudžiamosios, pavojingos ir ribojimo zonos bei prie karinių oro uostų ar bazių esanti oro erdvė, skirta atskrendančių karinių orlaivių srautų organizavimui ar kitiems tikslams, priklausytų tik vienam FAB. Kur tai įmanoma, galimiems tokių zonų patobulinimams ateityje atlikti tarp šių zonų ir kaimyninio FAB nustatyti minimalų 20 jūrmilių intervalą;

- kur tai įmanoma, tarp pagrindinių skrydžių srautų ir kaimyninio FAB ribos nustatyti minimalų 50 jūrmylių intervalą, galimų nežymių skrydžių srautų pokyčių įtakos neutralizavimui;
- FAB aukštutinę oro erdvę (nuo 195 SL iki 660 SL) sudalinti į skrydžių valdymo sektorius bei užtikrinti, kad, išskyrus regionus, esančius nagrinėjamos oro erdvės pakraščiuose, minimalus tranzitu skrendančio vidutinio orlaivio (pvz., B737, A320 ir pan.) skrydžio laikas kiekviename skrydžių valdymo sektorių būtų ne trumpesnis kaip 20 min., t.y. 150 jūrmylių, o minimalus skrydžio laikas FAB – 40 min., t.y. 300 jūrmylių.

Išvados

Optimalus oro erdvės suskirstymas yra didelis iššūkis kiekvienam regionui. Nors oro erdvės organizavimo gerinimas vyksta nuolat, tačiau šalies mastu išspręsti visas šios srities problemas yra labai sudėtinga.

Nagrinėjant Europos regioną, pirmoji didžiausia problema – esama Europos regiono oro erdvės fragmentacija, kurią reikia panaikinti optimaliu būdu. Be to, egzistuoja visa eilė papildomų probleminių klausimų, trukdančių esamai Europos OEV sistemai sklandžiai funkcionuoti. Analizės metu nustatyta, kad vykdant Europos regiono oro erdvės elementų stambinimą bei tuo pačiu siekiant padidinti OEV efektyvumą, tyrimo metu būtų tikslinga:

- analizuoti oro erdvę horizontalioje plokštumoje 2 scenarijais: valstybių, dalyvaujančių SES iniciatyvoje, ir valstybių, dalyvaujančių SES iniciatyvoje, papildžius Rusijos Federacijos (Kaliningrado srities) ir Airijos okeanine oro erdve;
- oro erdvės analizei taikyti taisyklingą mozaiką, sudarytą iš taisyklingų šešiakampių ir keturkampių ląstelių, o tyrimui naudojamą algoritmą papildyti papildomais FAB keliamais reikalavimais;
- nagrinėjamoje oro erdvėje formuoti ne daugiau kaip 6 funkcinius oro erdvės blokus;
- įvertinti būtinus saugos reikalavimus ir skirsniaavimo intervalus;
- analizei naudoti įvairių metų laikų ir įvairių mėnesių duomenis;
- maksimaliai įvertinti skrydžių vadovų darbo krūvį;
- maksimaliai įvertinti oro erdvės naudotojų poreikius.

Būtent šių sąlygų įgyvendinimas leis pasiūlyti realiai įmanomą, optimalų Europos regiono oro erdvės stambinimo modelį, o tyrimo metu naudotus oro erdvės

priskyrimo metodus taikyti nagrinėjant ar tobulinant kitas oro erdvės struktūras.

Literatūra

- Blom, H. A. P.; Bakker, G. J.; Blanker, P. J. G., *et al.* 1998. Accident risk assessment for advanced ATM, in *Second USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar*. Orlando, US.
- Conker, R.; Mooney, D.; Niedrinhaus, W., *et al.* 2007. New process for “Clean sheet airspace design and evaluation”, in *7th US/Europe ATM Seminar*. Barcelona, Spain.
- Delahaye, D.; Schoenauer, M.; Alliot, J. 1998. Airspace sectoring by evolutionary computation, in *Proceedings of the IEEE International Congress on Evolutionary Computation. Europos Parlamento ir Tarybos 2004 m. kovo 10 d. reglamentas (EB) Nr. 551/2004 dėl bendro Europos dangaus oro erdvės organizavimo ir naudojimo*. 2004.
- Donohue, G.; Yousefi, A.; Qureshi, K. 2003. Investigation of enroute metrics for model validation and airspace design using TAAM, in *5th Eurocontrol/FAA ATM R&D Seminar*. Budapest, Hungary.
- Huy, T.; Baptiste, P.; Duong, V. 2003. Optimized sectorization of airspace with constraints, in *5th US/Europe ATM Seminar*. Budapest, Hungary.
- Klein, A. 2005. An efficient method for airspace analysis and partitioning based on equalized traffic mass, in *6th FAA and EUROCONTROL ATM Conference, Baltimore* [online]. Available from Internet: <http://www.atmseminar.org/past-seminars/6th-seminar-baltimore-md-usa-june2005/papers/paper_001/view>.
- Martinez, S. A.; Chatterjin, G. B.; Dengfeng, S., *et al.* [online] 2007. A weighted-graph approach for dynamic airspace configuration. Available from Internet: <<http://www.ce.berkeley.edu/~bayen/conferences/gnc07b.pdf>>.
- MITRE 2004. *CAASD Projects – Intersect Density Analysis Toolset (IDAT) Overview* [online] 2004. Available from Internet: <http://www.mitreaas.org/work/projects_extra/tools.html>.

AIRSPACE MODELLING AT A MACROSCOPIC LEVEL

V. Kondroška

Abstract

This work reviews the innovative and progressive methods at the macroscopic level in airspace research. The analysis shows the strong and weak points of such methods.

Because of the implementation of functional airspace blocks (FAB), this area of airspace research is very important for the European region. Therefore, this study defines the main areas that should be taken into consideration in order to organize FABs in the most efficient way.

The main purpose of the analysis is to form a basis for the experimental research in this area.

Keywords: airspace analysis, functional airspace blocks, network of airways, airspace modelling.