

SKRYDŽIŲ VALDYMO PASLAUGŲ EFEKTYVUMO DIDINIMO ORO UOSTŲ METODŲ ANALIZĖ

¹Anrieta Dudoit, ²Jonas Stankūnas, ³Vaidotas Kondroška

VGTU AGAI Aviacijos technologijų katedra

El.p.: ¹anrieta.dudoit@vgtu.lt; ²jonas.stankunas@vgtu.lt; ³vaidotas.kondroska@vgtu.lt

Santrauka. Didėjant keleivių ir skrydžių srautams, aviacijos sistema ne visada patenkina oro erdvės naudotojų lūkesčius efektyvumo požiūriu – dažni orlaivių vėlavimai bei skrydžiai neoptimaliomis trajektorijomis. Prieigų oro erdvė, kaip ir aerodromo ir regiono oro erdvė, nėra efektyviai išnaudojama. Eurokontrolės tyrimais nustatyta, jog orlaiviai prieigų zonose nusikrenda apie 40 kilometrų papildomo atstumo, o tai padidina skrydžių vadovų ir pilotų darbo krūvį. Dėl šios priežasties daugiau sunaudojama kuro ir atitinkamai daugiau kenksmingų medžiagų patenka į atmosferą, taip pat pakyla triukšmo lygis. Todėl šiame straipsnyje yra analizuojami skrydžių valdymo paslaugų efektyvumo didinimo metodai, kuriuos būtų galima naudoti dabartiniam bei prognozuojamam eismo augimui, užtikrinant vėlavimų sumažinimą, optimalesnes skrydžių trajektorijas – tai turi įtakos aplinkosaugai, ekonomikai bei tiek orlaivių, tiek ir skrydžių valdymo paslaugų (toliau – ATS) teikėjų operacijoms.

Reikšminiai žodžiai: skrydžių valdymas, prieigos, efektyvumas, metodai.

1. Įvadas

Dėl nuolat didėjančių keleivių ir skrydžių srautų aviacijos sistema ne visada patenkina oro erdvės naudotojų lūkesčius efektyvumo požiūriu. Šiuo metu yra iškilusi problema dėl oro erdvės ir jos vadybos, nes tai yra neviseškai išnaudojami ištekliai aviacijoje, mat augantys skrydžių srautai daro įtaką skrydžių valdymo paslaugų efektyvumui nagrinėjamosiose prieigų (toliau – TMA) zonose. Dublino oro uoste atlikti tyrimai rodo, jog 2011 m. šio oro uosto pralaidumas su vienu naudojamu pakilimo ir tūpimo taku buvo 47 nutūpimai ir pakilimai per valandą. Įvykdyta 162000 skrydžių 177 maršrutais. Ir tai, manoma, nėra galutinė leistina riba. Dėl šios priežasties yra būtina efektyvinti skrydžių valdymo paslaugų metodus, kad daugiau orlaivių galėtų nutūpti bei išskristi iš oro uostų.

Prieigų oro erdvė, kaip ir aerodromo bei regiono erdvė, yra neefektyviai išnaudojamos. Atliekant tyrimus JAV oro erdvėje nustatyta, jog orlaiviai TMA zonoje nusikrenda 70% papildomo atstumo. Dėl šios priežasties būtina pritaikyti skrydžių bei paslaugų teikėjų efektyvumo didinimo metodus (Knorr 2010).

Šios problemos sprendimo būdai yra nagrinėjami šiame tyrime, nes nuo to, kaip oro erdvė bus organizuota, kokiais principais ir kokie oro erdvės elementai bus sudaromi bei vėliau – kaip efektyviai jie bus naudojami, priklauso oro eismo vadybos sistemos, tarp jų – ir skrydžių valdymo paslaugų bei skrydžių efektyvumas.

2. Atliekami tyrimai

Europa bei Jungtinės Amerikos Valstijos šioje srityje atlieka tyrimus. Europoje yra gerai žinomas „Single European Sky Air Traffic Management Research“ (SESAR) projektas, kurio tikslas yra tyrimo bei vystymo programa sukurti Europos sistemą, gebančią patenkinti prognozu-

jamą oro erdvės naudotojų paklausą bei teikti efektyvias skrydžių valdymo paslaugas (SESAR 2012).

Jungtinėse Amerikos Valstijose Federalinė aviacijos administracija (angl. – *Federal Aviation Administration*) diegia *Nextgen* programą, skirtą šalies oro erdvės modernizacijai. Siekiama patenkinti prognozuojamą oro eismo paklausą taikant naujas technologijas, tokias kaip *Area Navigation* – RNAV ir *Required Navigation Performance* – RNP (Brooker 2010).

Jungtinės Karalystės civilinės aviacijos administracija (angl. – *Civil Aviation Administration*, CAA), sutinkamai su SESAR ir NextGen programomis, pasiūlė charakteristikas, kurias planuojama panaudoti modernizuojant oro erdvę. Nustatyta, jog 2011–2014 m. bus tobulinami 2D elementai, leidžiantys oro erdvės naudotojams skristi sumažintu atstumu, tiesesniais maršrutais, žinomais kaip horizontalus profilis. Planuojama, kad 2015–2020 m. bus tobulinami 3D elementai, leidžiantys oro erdvės naudotojams skristi efektyvesniais vertikaliais profiliais (tiesinis žemėjimas ir kilimas). Manoma, jog 2021–2030 m. bus diegiami 4D elementai, kurie leis optimizuoti trajektorijų operacijas, sujungti horizontalų ir vertikalų profilius, taip užtikrinant bekonfliktines situacijas (UK CAA 2010).

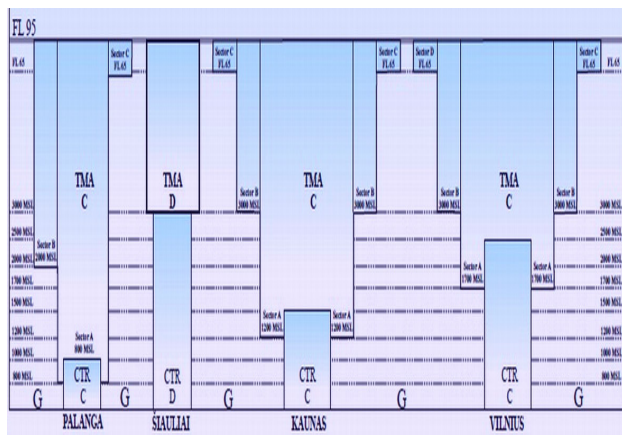
3. Prieigų skrydžių valdymo paslaugos ir efektyvumas

Norint apibrėžti prieigų skrydžių valdymo paslaugų efektyvumą, pirmiausia reikia išsiaiškinti, kas tai yra prieigų skrydžių valdymo paslaugos bei prieigų oro erdvė.

Prieigų oro erdvė – tai valdoma oro erdvės aplinka, sukurta saugai ir efektyvumui užtikrinti teikiant skrydžių valdymo paslaugas. Prieigų oro erdvė yra apibūdinama kaip erdvė, kur daugelis orlaivių atlieka kilimo ir žemėjimo procedūras ganėtinai apibrėžtoje erdvėje. Prieigų oro erdvės operacijos yra dinamiškos ir priklauso nuo oro erdvės naudotojų paklausos, kuri dažnai turi įtakos nukreipiant orlaivius į laukimo zonas ir dėl neefektyvių

skrydžių valdymo metodų sukuria užlaikymus tiek ore, tiek ir žemėje.

Žemiau pateikiamas prieigų oro erdvės ribų žemėlapis, sudarytas pagal Lietuvos Respublikos įstatymus (1 pav.).



1 pav. LR erdvės klasifikavimo žemėlapis

Fig. 1. LR airspace classification chart

Lietuvos oro uostų žemėlapyje pateikti prieigų oro erdvės dydžiai yra skirtingi. Tarptautinio Vilniaus oro uosto aerodromo prieigų aukštis yra nuo 1700 pėdų virš vidutinio jūros lygio (toliau – MSL) iki skrydžio lygio 95 (toliau – SL), Kauno prieigos – nuo 1200MSL iki SL95, Šiaulių prieigos – nuo 3000MSL iki SL95 bei Palangos – nuo 2000MSL iki SL95 (LR Air... 2009).

Prieigų oro erdvėje yra teikiamos prieigų skrydžių valdymo paslaugos – tai yra skrydžių valdymo paslaugos, kurios yra teikiamos valdomo skrydžio dalims, susijusioms su orlaivio atvykimu arba išvykimu iš oro uosto. Prieigų skrydžių valdymo paslaugų tikslas – išvengti orlaivių konfliktinių situacijų, pagreitinti ir palaikyti nenutrūkstamą oro eismo srautą (ICAO... 2007).

Pagal *Nextgen* programą, be minėtų tikslų, prieigų skrydžių vadovai turi sudaryti sąlygas orlaiviams nužemėti iki tako su mažesniu tarpusavio skirsniaivimu ir maksimalia žemėjimo sparta (Nextgen 2010).

Šiuo metu prieigų oro erdvėje siekiama sumažinti kuro sąnaudų bei taršos ir triukšmo lygius, optimizuoti orlaivių išskyrimą realiu laiku, stabilizuoti atvykimo/priartėjimo procedūras, siekti stabilaus žemėjimo greičio, sumažinti skridimo laiką šioje erdvėje ir mažinti skrydžių valdymo teikėjų darbo krūvį (Optimizing... 2009).

Terminas *efektyvumas* teikiant prieigų skrydžių valdymo paslaugas – tai yra dydis, kai realios operacijos prilygsta prieigų oro erdvėje idealiam skrydžiui, kurio metu orlaivis skrenda optimalia trajektorija, todėl sunaudoja mažiau energetinių išteklių ir tokiu būdu aplinka yra mažiau teršiama kenksmingomis medžiagomis CO₂ ir NO_x bei triukšmo lygiu (Haraldsdottir, Alcabin 2010).

4. Oro eismo vadybos įtaka prieigų skrydžių valdymui

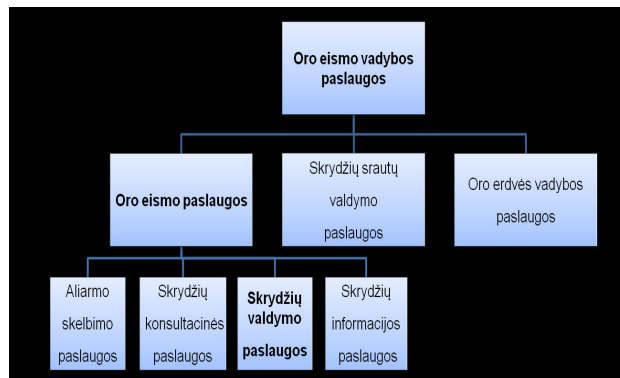
Norint plačiau suprasti prieigų skrydžių valdymo paslaugų reikšmę, reikia išanalizuoti, kas tai yra oro eismo va-

dybos bei oro eismo paslaugos ir kaip jos siejasi su prieigų skrydžių valdymo paslaugomis.

Paslaugų visuma – tai oro eismo srauto vadybos paslaugos, kurių tikslas – palaikyti saugų, reguliarių ir operatyvų skrydžių srautą užtikrinant, kad skrydžių valdymo pralaidumas būtų naudojamas maksimaliai, o skrydžių intensyvumas atitiktų oro eismo paslaugų teikėjo paskelbtą pralaidumą.

Oro eismo vadyba – tai bendrasis terminas, apimančias oro eismo paslaugas, oro eismo srautų vadybą ir oro erdvės tvarkybą (Oro... 2012). Vienas iš oro eismo paslaugų pogrupių yra skrydžių valdymo paslaugos. Šios skrydžių valdymo paslaugos apima aerodromo, prieigų bei regiono skrydžių valdymą (2 pav.).

Oro eismo vadybos sistema yra tobulinama, nes skrydžių intensyvumas auga. Oro eismo vadyba ir jos optimalus organizavimas (kalbama apie oro uostų prieigų zonas) leistų optimizuoti skrydžių valdymą gerinant žemėjimo ir aukštėjimo trajektorijas, labiau tenkintų oro erdvės naudotojų poreikius, leistų sumažinti atmosferos taršos kenksmingomis medžiagomis lygį bei apribotų nereikalingų energetinių išteklių naudojimą (Kondroška, Stankūnas 2012).



2 pav. Tarptautinės civilinės aviacijos organizacijos (ICAO) oro navigacijos paslaugų klasifikacija

Fig. 2. Air navigation service classification according to International Civil Aviation Organization (ICAO).

Dėl nuolat didėjančių keleivių ir skrydžių srautų aviacijos sistema ne visuomet patenkina oro erdvės naudotojų lūkesčius efektyvumo požiūriu. Oro transporto veiklos efektyvumą lemia ne tik oro erdvės naudotojų mokesčių mažinimas, bet ir oro eismo vadybos sistemos efektyvumas. OEV ir oro erdvės vadyba kartu su kitomis atitinkamomis priemonėmis nustato sąlygas skrydžiams ir apsprendžia skrydžių trajektorijas ir jų efektyvumą.

5. Skrydžių valdymo paslaugų metodų analizė

Europos ATM reikalauja bendros taktikos, kad būtų surastas balansas tarp tokių tikslų, kaip skrydžių efektyvumas, pralaidumas, sauga ir aplinkosauga. Skrydžių efektyvumo planas turi būti nagrinėjamas tokiais aspektais, kaip dinaminių ir lanksčių oro erdvės sprendimų radimas, vėlavimų mažinimas ir efektyvumo didinimas bei oro erdvės organizavimas ir pralaidumo užtikrinimas tiek vietinių t. y. prieigų, tiek ir regiono mastu (IATA/ EUROCONTROL/CANSO 2009).

Kaip jau minėta, turi būti išanalizuoti metodai, kaip padidinti skrydžių valdymo paslaugų efektyvumą, nes skrydžių valdymo paslaugų efektyvumo didinimo metodų panaudojimas turi įtakos aplinkosaugai, ekonomikai, taip pat tiek orlaivių, tiek ir ATS teikėjų operacijoms. Efektyvumas gali būti pasiektas šiais metodais:

- vektoravimas radaru (angl. – *Radar Vectoring*);
- optimaliesni vertikalūs profiliai (angl. – *Optimised Vertical Profiles*);
- optimaliesni horizontalūs profiliai (angl. – *Optimised Horizontal Profiles*);
- sumažintas maršruto plotis (angl. – *Reduced Route Spacing*);
- tikslesnis kelio palaikymas (angl. – *Improved Track Keeping*).

5.1. Vektoravimas radaru

Dėl smarkiai augančio eismo oro uostuose daugėja užlaikymų, todėl aplinkos tarša neviršija leistinų ribų. Prieigų skrydžių vadovams vektoriuojant orlaivius TMA rajone, padidėja jų darbo krūvis. Vektoravimas neleidžia orlaiviams skristi efektyvesnėmis trajektorijomis, nes yra ištiesiamos arba orlaiviai yra nukreipiami į laukimo zonas. Dėl to įdiegiamos „*Performance Based Navigation*“ (PBN) procedūros, kurios leis orlaiviams skristi optimalesnėmis trajektorijomis.

5.2. Optimaliesni vertikalūs profiliai

Šiuo metu yra stengiamasi sukurti trasas, kurios galėtų teikti trumpesnius atstumus ar kaip „*vertikalūs langai*“, kurie pagerina tiesaus žemėjimo, žinomo kaip *Continuous Descent Approach* ar kilimo *Continuous Climb Departure* operacijas, leidžiant skristi sąnaudų požiūriu efektyviau, bei sumažinti aplinkos taršos lygį (Korn 2010).

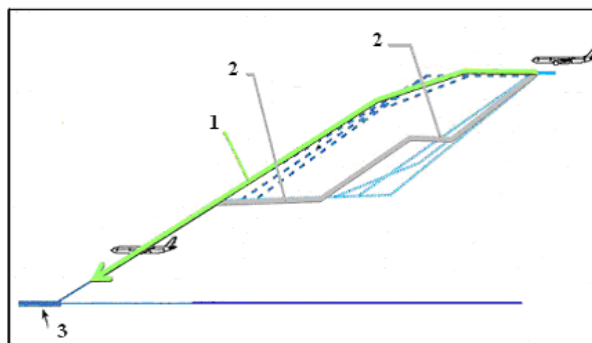
Naudojant RNAV „*Standard Instrument Departure*“ (SID) išvykimus daugėja galimų išvykimo trasų skaičius. Dėl šios priežasties ne tik sumažėja vėlavimai, bet mažėja ir kuro sąnaudos bei aplinkos taršos lygis (Ray 2012).

Taipogi RNAV „*Standard Instrument Arrival Route*“ (STAR) atvykimai yra atliekami su tiesiniu žemėjimu (*Continuous Descent Approach, CDA*), kuris turi tiek privalumų, tiek ir trūkumų. Tiesinio žemėjimo (3 pav., 1) privalumai, palyginti su realiai naudojamu „laiptelininiu“ žemėjimu (2), yra tokie: naudojant mažiau traukos orlaiviai išlaiko didesnę aukštį bei greitį žemėjimo proceso metu (3 pav.). Toks žemėjimas iki kilimo ir tūpimo tako (3) mažina prieigų skrydžių vadovų darbo krūvį bei radijo ryšio apimtį.

Apskaičiuota, kad atliekant tiesinį žemėjimą prieigų oro erdvėje, kuro sunaudojimą galima sumažinti apie 200–500 kg; CO₂ emisijas – 500–200kg bei triukšmo lygį – iki 5 dB nutūpiančiam orlaiviui (Korn 2011).

Be minėtų privalumų, ši operacija turi ir trūkumų: ribotos yra skrydžių valdymo paslaugų teikėjų galimybės įsikišti į šį procesą, be to, skrydžių vadovai negali stebėti ir planuoti tiesinio žemėjimo procedūros pabaigos. Taip pat ši procedūra neatliekama intensyvaus eismo zonoje, o tai yra trūkumas, kadangi oro uostų intensyvumas yra didelis ir planuojamas jo augimas.

PBN procedūrų RNAV/RNP diegimas suteikia oro erdvės naudotojams daug privalumų. Šiuo metu orlaiviai, naudodamiesi RNAV/RNP, galima skristi iš pasirinkto taško į tašką pasirinkta trasa, kas anksčiau buvo įmanoma tik skrendant virš navigacinių priemonių (Whitworth 2012).

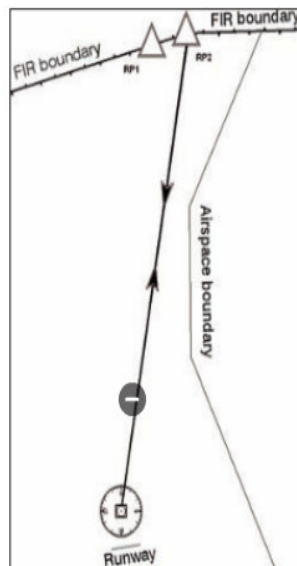


3 pav. Vertikalus tiesinio žemėjimo profilis

Fig. 3. Vertical profile of continuous descent

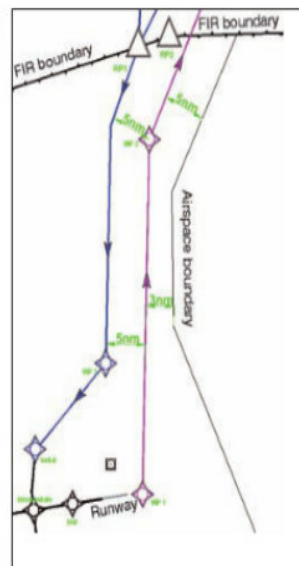
Orlaiviai, naudodamiesi VOR vienu įskridimo ir išskridimo tašku, iš prieigų zonos skrenda priešpriešiniais kursais. Dėl šios priežasties orlaiviai, skrendantys link oro uosto, yra užlaikomi prieigų skrydžių vadovų virš optimalaus žemėjimo profilio, tuo tarpu orlaiviai, išskrendantys iš oro uosto žemiau optimalaus kilimo profilio, yra apribojami aukščiais iki orlaiviai nepraskrenda jų trajektorijų susikirtimo taško (4 pav.).

Šiai problemai išspręsti gali būti panaudotas vektoravimas radaru, tačiau šis metodas turi savų trūkumų. RNAV/RNP radaro atskirti maršrutai gali išspręsti šią problemą (5 pav.). Todėl orlaiviai gali kilti bei žemėti panaudojant optimalius profilius.



4 pav. Priešpriešinis eismas (Ray 2012)

Fig. 4. Reciprocal traffic (Ray 2012)



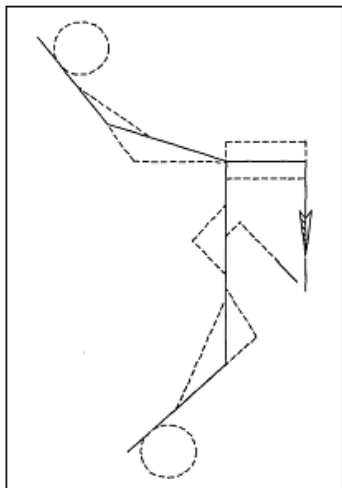
5 pav. Išskirstytas RNAV eismas

Fig. 5. Separated RNAV traffic

5.2. Optimaliesni horizontalūs profiliai

Skrydžių vadovai naudoja vektoriavimą tam, kad sutrumpintų arba prailgintų orlaivių skridimo trajektorijas, skirstant juos tūpimui arba pakilimo metu.

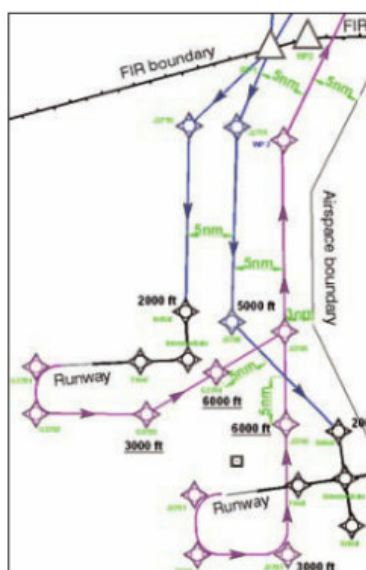
6 paveiksle šie procesai parodyti taip: normali atvykimo trajektorija parodyta iššęstomis linijomis, o sutrumpintos ir pratęstos trajektorijos bei 360 laipsnių posūkiai – brūkšniuotomis linijomis (Barmore, Hull 2004).



6 pav. Normalios ir vektoriavimo trajektorijos (Barmore, Hull 2004)

Fig. 6. Normal and vectoring trajectories (Barmore, Hull 2004)

RNAV/RNP turi įtakos horizontaliems profiliams, nes leidžia išlaikyti horizontalų 3 jūrmilių atstumą nuo oro erdvės zonos ribų (7 pav.) ir daro efektyvesniu oro erdvės panaudojimą. RNAV/RNP procedūrų pritaikymas gali išspręsti kompliktuotus situacijas, kai yra naudojami du takai. Trasos yra apsaugotos nuo konfliktinių situacijų, o tai palengvina skrydžių vadovų darbą panaudojant atskirtas viena nuo kitos trasas bei trasos aukščius.



7 pav. Išskirtas RNAV eismas su dviem takais (Ray 2012)

Fig. 7. Separated RNAV traffic with two runways (Ray 2012)

5.2.1. Sumažintas trasos plotis

Europoje planuojama prieigų oro erdvėje trasos plotį sumažinti iki 1 jūrmilės.

PBN, tai yra RNAV ir RNP panaudojimas, leidžia sumažinti trasos plotį bei atstumus tarp orlaivių. Dėl šios priežasties kuriant trajektorijas, kurios yra artimesnės oro erdvės naudotojų poreikiui, padidės tiek pralaidumas, tiek ir skrydžių efektyvumas (ICAO 2008).

5.2.2. Tikslusnis kelio palaikymas

Kaip minėta, trasos pločio sumažinimas iki 1 jūrmilės prieigų oro erdvėje reikštų tai, jog orlaivis 95% skridimo laiko geba išlaikyti centrinę skridimo ašį 1 jūrmilės ribose (Guidance... 2003). Tačiau orlaiviai turi būti aprūpinti labiau pažangia avionika, kad galėtų atlikti RNP procedūras.

6. Išvados

1. Siekiant sukurti saugią, efektyvią oro erdvę, kurios pralaidumas atitiktų oro eismo paklausą, patenkintų oro erdvės naudotojų poreikius ir sumažintų aviacijos poveikį aplinkai, reikia pritaikyti efektyvius skrydžių valdymo paslaugų metodus.
2. Nustatyta, jog tiek skrydžių paslaugų teikėjams, tiek ir oro erdvės naudotojams RNAV SID/ RNAV STAR ir RNAV CDA skrydžių valdymo metodų panaudojimas prieigų zonose teikia naudą šiais aspektais:
 - Efektyvesni skrydžio profiliai bei paslaugos.
 - Vėlavimų sumažėjimas.
 - Sumažintas radijo ryšio vedimo kiekis (t.y. darbo krūvis).
 - Trumpesnis skrydžio laikas bei atstumas.
 - Mažesnės kuro sąnaudos.
 - Mažesnis aplinkos poveikis CO₂, NO_x medžiagomis bei triukšmo lygiu.
 - Didesnis saugos lygis.
3. Prieigų oro erdvėje RNAV tiesinio žemėjimo CDA procedūrų vykdymas leidžia sumažinti radijo ryšio vedimo, tarp prieigų paslaugų teikėjų ir orlaivio ekipažo, darbo apimtį, kuro sunaudojimą (apie 200-500 kg), CO₂ emisijas (500-200kg) bei triukšmo lygį iki 5 dB nutūpiančiam orlaiviui.
4. Tolimesnė šių metodų analizė gali būti atliekama jų trūkumų sprendimams rasti, pvz.: CDA procedūrų panaudojimas intensyvioje prieigų oro eismo erdvėje.
5. Išanalizuotų metodų pritaikymas leis skrydžių vadovams efektyviau teikti skrydžių valdymo paslaugas esamam bei prognozuojamam oro eismo srauto augimui.

Literatūra

- Barmore, B.; Hull, J. 2004. *Technology-enabled airborne spacing and merging*.
- Brooker, P. 2010. *4D trajectory ATM*.
- Guidance Material for the Design of Terminal Procedures for Area Navigation. 2003. Eurocontrol. 3rd ed.

- Haraldsdottir, A.; Alcabin, M. 2010. *Air Traffic Management Concept Baseline Definition*. Boeing Commercial Airplane Group.
- IATA/EUROCONTROL/CANSO [interaktyvus] 2009. *Flight Efficiency Plan. Fuel and Emissions Savings* [žiūrėta 2013 m. kovo 12 d.]. Prieiga per internetą: <www.eurocontrol.int/airspace>.
- ICAO [interaktyvus]. 2007. *Annex 11. Air Traffic Services*.
- ICAO. 2008. *Performance Based Navigation (PBN) Manual*. Doc. 9613. 3rd ed.
- Knorr, D. 2010 *Flight Efficiency Studies in Europe and the United States*.
- Korn, B. 2010. *4D trajectory management*.
- Korn, B. 2011. *Trajectory based TMA concept*.
- Kondroška, V.; Stankūnas, J. 2012. Oro eismo vadybos sistemos efektyvumo užtikrinimas regiono mastu, iš 15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos „Aviacijos technologijos“ pranešimų rinkinys.
- LR Air Information Publication (AIP). 2009.
- Nextgen. *The airspace system of the future*. 2010.
- Optimizing Aircraft Sequencing and Spacing in the Terminal Area Airspace to Increase Airport Capacity, Reduce Fuel Burn and Emissions and Reduce Noise on Developed Terminal Paths*. 2009. NGATS Institute.
- Oro eismo paslaugų teikimo taisyklės* [interaktyvus]. 2012. [žiūrėta 2013 m. kovo 12 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.infolex.lt/lite/ta/121810>
- Ray, E. 2012. *Air Traffic Technology International. Performance Based Navigation in the USA*.
- SESAR. 2012. The roadmap for sustainable air traffic management European ATM master plan: Executive Summary, in *Air Navigation Service Providers*. 2nd ed.
- UK CAA. 2010. *Future Airspace Strategy for the United Kingdom 2011 to 2030*.
- Whitworth, I. 2012. Air traffic technology, in *International Practicalities of PBN implementation*.

ANALYSIS OF METHODS FOR INCREASING AIR TRAFFIC SERVICE EFFICIENCY IN TERMINAL AIRSPACE

A. Dudoit, J. Stankūnas, V. Kondroška

Summary

The increasing amount of passengers and traffic flow does not always allow to reach efficiency of aviation systems employed by airspace users. Aircraft delays and their flight through non-optimal flight tracks are very frequent disturbances. Eurocontrol has estimated that aircraft fly about 40 km of additional distance in terminal airspace. The result is increased workload of air traffic control service and pilots, excessive fuel burn, emissions and noise levels. For these reasons, there is a considerable need to analyze air traffic control service efficiency and to investigate the methods, which could be used in nowadays and with predictable traffic growth preventing delays and would allow aircraft to fly following optimal flight routes.

Keywords: air traffic services, terminal airspace, efficiency, methods.