



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

ANTANO GUSTAIČIO AVIACIJOS INSTITUTAS

AVIACIJOS TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

Marius Lisinskas

OPTIMALIŲ ARTĖJIMO TŪPTI IR TŪPIMO PROCEDŪRŲ PANAUDOJIMAS

VILNIAUS ORO UOSTE

APPLICATION OF CONTINUOUS DESCENT APPROACH AND LANDING

PROCEDURES AT VILNIUS AIRPORT

Baigiamasis magistro darbas

Orlaivių pilotavimo studijų programa, valstybinis kodas 60103T101

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2011

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
ANTANO GUSTAIČIO AVIACIJOS INSTITUTAS
AVIACIJOS TECHNOLOGIJŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, Pavardė)

(Data)

Marius Lisinskas

**OPTIMALIŲ ARTĖJIMO TŪPTI IR TŪPIMO PROCEDŪRŲ PANAUDOJIMAS
VILNIAUS ORO UOSTE
APPLICATION OF CONTINUOUS DESCENT APPROACH AND LANDING
PROCEDURES AT VILNIUS AIRPORT**

Baigiamasis magistro darbas

Orlaivių pilotavimo studijų programa, valstybinis kodas 60103T101

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių k. Konsultantė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2011

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Antano Gustaičio aviacijos institutas

Aviacijos technologijų katedra

ISBN ISSN

Egz. sk. 2

Data 2011-05-10

Orlaivių pilotavimo studijų programos baigiamasis magistro darbas

Optimalių artėjimo tūpti ir tūpimo procedūrų panaudojimas Vilniaus oro uoste

Autorius **Marius Lisinskas**

Vadovas Liudas Mašnauskas

Kalba

☒ X

lietuvių

☐

užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjamos optimalaus artėjimo procedūros ir ICAO bei EUROCONTROL pateiktos šių procedūrų rekomendacijos. Išanalizuoti pagrindiniai šių procedūrų kūrimo principai, kuriais remiantis jos yra taikomos praktikoje. Darbe apžvelgiami oro uostai naudojantys šias procedūras. Aptariama jų praktinė nauda aplinkai, oro paslaugų teikėjams ir oro vežėjams. Analizuojami pagrindiniai skirtumai tarp Vilnuje naudotų ir dabar esamų artėjimo tūpti ir tūpimo procedūrų.

Prasminiai žodžiai: CDA, kuro sąnaudos, „žalioji aviacija“, atviro kelio konstrukcija, uždaro kelio konstrukcija, triukšmas.

Vilnius Gediminas Technical University

Antanas Gustaitis aviation institute

Department of **aviation technologies**

ISBN ISSN

Copies No. 2

Date 2011-05-10

Aircraft piloting study programme master thesis.

Application of continuous descent approach and landing procedures at Vilnius airport

Author **Marius Lisinskas**

Academic supervisor **Liudas Masnauskas**

Thesis language

☐

Lithuanian

☒

Foreign (English)

Annotation

In this thesis are considered continuous descent approach and landing procedures, ICAO and EUROCONTROL recommendations. There are discussed the design principles under which they are implemented in practice. Airports that use these procedures are overviewed. The practical benefits for the environment, air service providers and carriers are discussed. Furthermore, the main differences between the nowadays and the previous type of approach are analysed.

Keywords: CDA, fuel consumption, green aviation, open path conception, closed path conception, noise abatement.

TURINYS

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS	1
LENTELIŲ SĄRAŠAS	3
SANTRUMPOS	4
IVADAS.....	5
1. TRIUKŠMO MAŽINIMO BŪDAI	8
1.1. Į tūptinę įėjimo aukščio didinimas	10
1.2. Lufthansa procedūra	11
1.3. Artėjimas dviem etapais	11
1.4. Artėjimas ir kilimas išlenktu keliu	12
2. OPTIMALAUS ARTĖJIMO PROCEDŪRA	13
2.1. Atviro kelio konstrukcija	14
2.2. Uždaro kelio konstrukcija.....	15
2.3. Orlaivių atvykimo eilės sudarymo metodai.....	16
2.4. Optimalaus žemėjimo profilio kūrimo principai	17
2.5. Skrydžių simuliacija	19
3. PANAUDOTŲ OPTIMALIŲ ARTĖJIMO TŪPTI IR TŪPIMO PROCEDŪRŲ REZULTATŲ AMSTERDAMO ORO UOSTE APTARIMAS.....	21
4. OPTIMALIŲ ARTĖJIMO TŪPTI IR TŪPIMO PROCEDŪRŲ PRAKTINIS PANAUDOJIMAS NAKTIES METU LUIZVILIO ORO UOSTE	26
4.1. Skrydžių rezultatai	28
4.2. Pilotų apklausa	28
4.3. CDA ir įprastinio artėjimo procedūrų palyginimas	32
5. OPTIMALIŲ ARTĖJIMO TŪPTI IR TŪPIMO PROCEDŪRŲ PANAUDOJIMAS VILNIAUS ORO UOSTE	45
5.1. Įprastinės artėjimo procedūros KTT 20.....	46
5.2. CDA atvykimas KTT 20	48
5.3. Procedūrų KTT 20 palyginimas	50
IŠVADOS	61
LITERATŪROS IR ŠALTINIŲ SĄRAŠAS	63

PAVEIKSLĖLIŲ SĄRAŠAS

1 pav. Atskirų orlaivio dalių triukšmo kėlimas.....	8
2 pav. Triukšmo krypties valdymas naudojant barjerus	9
3 pav. Įprastinė tūpimo procedūra.....	10
4 pav. Aukščio didinimas	11
5 pav. Artėjimas dviem etapais	12
6 pav. MLS.....	12
7 pav. Vektoriavimo procedūra.....	14
8 pav. Atvira procedūra iki grįžtinės.....	15
9 pav. Uždara kelio konstrukcija.....	15
10 pav. Kelio tempimo metodas	16
11 pav. Susijungenčių kelių metodas	17
12 pav. CDA vertikalaus žemėjimo profilio konstrukcija	18
13 pav. Monte Carlo simuliacija	20
14 pav. Įprastinio artėjimo procedūra	21
15 pav. CDA	22
16 pav. B747-400 Variklių traukos kitimo diagrama	22
17 pav. B747-400 Triukšmo zonos	23
18 pav. Triukšmo priklausomybė nuo horizontalaus segmento.....	24
19 pav. Kuro sąnaudų priklausomybė nuo horizontalaus segmento.....	24
20 pav. Kuro sunaudojimo priklausomybė nuo triukšmo ploto.....	25
21 pav. Atvykimo schema.....	27
22 pav. Atvykimo schemos naudingumas.....	29
23 pav. Apribojimai FMS duomenų bazėje	29
24 pav. Pilotų atsiliepimai apie skrydžio valdymo komandas	30
25 pav. Procedūros palyginimas su tikru skrydžiu	31
26 pav. Darbo krūvis.....	31
27 pav. Atstumo ir aukščio priklausomybė.....	32
28 pav. Variklių turbinos sūkiai	33
29 pav. Oro stabdžių naudojimas.....	34
30 pav. Kalibruotas oro greitis	34
31 pav. Skrydžio laikas iki tako	35
32 pav. Kuro sąnaudos	36
33 pav. Skrydžio laikas paskutinių 180 NM iki tako 35L	36
34 pav. Kuro sąnaudos paskutinių 180 NM iki tako 35L.....	37
35 pav. B757-200 ir B767-300 NO išmetimo priklausomybė nuo laiko	38
36 pav. B757-200 ir B767-300 NO išmetimo priklausomybė nuo sunaudoto kuro	39
37 pav. Vidutinis B757-200 ir B767-300 NO išmetimas.....	39
38 pav. B757-200 ir B767-300 CO išmetimo priklausomybė nuo laiko	40
39 pav. B757-200 ir B767-300 CO išmetimo priklausomybė nuo sunaudoto kuro	40
40 pav. Vidutinis B757-200 ir B767-300 CO išmetimas.....	41
41 pav. B757-200 ir B767-300 HC išmetimo priklausomybė nuo laiko	41
42 pav. B757-200 ir B767-300 HC išmetimo priklausomybė nuo sunaudoto kuro	42
43 pav. Vidutinis B757-200 ir B767-300 HC išmetimas.....	42
44 pav. 60dB triukšmo zona CDA ir įprastinių artėjimų metu	43
45 pav. KTT 20 tūptinė	45
46 pav. Atvykimo schema.....	47

47 pav. CDA atvykimo schema	49
48 pav. IRKAL 2B atvykimo žemėjimo profilių ribos	51
49 pav. NEDAM 2B atvykimo profilių ribos	53
50 pav. IKAMU 2B atvykimo profilių ribos.....	54
51 pav. MURUN 2B atvykimo profilių ribos	56
52 pav. TAGOL 2B atvykimo profilių ribos.....	58
53 pav. UTENU 2B atvykimo profilių ribos.....	60

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Tyrimo rezultatai	23
2 lentelė. CDA skrydžių suskirstymas	28
3 lentelė. Duomenys oro taršos skaičiavimui.....	38

SANTRUMPOS

AGL – Virš žemės paviršiaus
CDA – Optimalus artėjimas tūpti
CFIT – Kontroliuojamas skrydis į žemę
FAF – Galutinis artėjimo kontrolinis taškas
FL – Skrydžio lygis
FMS – Skrydžio valdymo kompiuteris
IAF – Pradinis artėjimo kontrolinis taškas
IATA – Tarptautinė oro vežėjų asociacija
IAS – Indikuotas oro greitis
ICAO – Tarptautinė civilinės aviacijos organizacija
ILS – Tūpimo pagal prietaisus sistema
kt – mazgas
KTT – Kilimo, tūpimo takas
LNAV – Horizontali navigacija
MSL – Aukštis virš tikrojo jūros lygio
NM – Jūrmylė
ONPT – Oro navigacijos paslaugų teikėjas
OPD – Optimalaus artėjimo procedūra
RNAV – horizontali navigacija
TMA – Prieigų zona
TOD – Aukščiausias žemėjimo taškas
UTC – Universalus kordinuotas laikas
VNAV – Vertikali navigacija

IVADAS

Temos aktualumas ir problematika. Nuolatiniai kitimai pasaulinėje ekonomikos rinkoje, didėjantis gyventojų skaičius, turizmo rinkos plėtra, migracija verčia plėtoti oro transportą. Tai skatina oro vežėjus didinti lėktuvų reisų skaičių. Dideli oro srautai daro žalingą įtaką aplinkai – kelią oro užterštumą, skatina triukšmo lygio oro uosto vietovėje viršijimą. Viena iš galimų sprendimų šiai problemai būtų aviacijos technologijų vystimas, naujų ekonomiškesnių bei tylesnių orlaivių gamyba. Tačiau šitaip problema nebus išspręsta, nes nevisos kompanijos galės leisti pirkti brangius orlaivius. Be to, dėl orlaivių skaičiaus didėjimo ši problema būtų tik laikinai pristabdyta. Vienas iš sprendimų nereikalaujančių didelių investicijų - tai oro erdvės restruktūrizacija panaudojant optimalaus artėjimo procedūras. Pagrindinis optimalių artėjimo tūpti ir tūpimo procedūrų (CDA) panaudojimo tikslas yra sumažinti orlaivių keliamą triukšmą, kuro sąnaudas ir išmetamų dujų kiekį taip, kad naudojant pastovaus žemėjimo techniką orlaivis nužemėtų iki galutinio artėjimo tūpti kontrolinio taško nustatyto aukščio. CDA – tai orlaivio valdymo technika, kai atvykstantis orlaivis pradeda žemėti nuo optimalaus taško, kuris nustatomas atsižvelgiant į orlaivio tipą, svorį, atstumą iki tako slenksčio, vėjo kryptį ir greitį, su minimalia trauka, išvengiant horizontalių skrydžio segmentų, laikantis nustatytų orlaivio naudojimo procedūrų ir skrydžių vadovų pagalbos.

2008 metų rugsėjį CANSO, IATA ir EUROCONTROL organizacijos pasirašė Skrydžių gerinimo planą (*Flight Efficiency Plan*) kurio tikslas yra padidinti optimalių artėjimo tūpti procedūrų panaudojimą ir pasiekiamumą Europoje. Pagal šį planą yra išpareigota iki 2012 metų šias procedūras panaudoti 100 oro uostų.

Iš šių pagrindinių aviacijos organizacijų veiksmų galime spręsti, kad optimalaus artėjimo procedūrų panaudojimas yra svarbus tolimesniai aviacijos raidai.

Darbo tikslas–apžvelgti optimalių artėjimo ir tūpimo procedūrų panaudojimą Vilniaus oro uoste.

Darbo uždaviniai:

- Apžvelgti galimus triukšmo mažinimo būdus;
- Išanalizuoti optimalaus artėjimo ir tūpimo procedūras;
- Išnagrinėti optimalių artėjimo procedūrų praktinių panaudojimų rezultatus pasirinktuose Amsterdamo ir Luizvilio oro uostose;
- Palyginti Vilniuje naudojamas optimalaus artėjimo ir tūpimo procedūras su įprastinėmis procedūromis bei ICAO rekomendacijomis.

Darbo objektas—CDA procedūros.

Literatūra ir šaltiniai. Šiame darbe daugiausiai remiamasi ICAO, NASA ir EUROCONTROL organizacijų žinynais ir straipsniais, kuriuos galima įvardinti kaip pirminius šaltinius. Iš šių dokumentų, kurie sudarė teorinės dalies pagrindą, derėtų paminėti DOC9931, DOC8168, Igulos procedūros optimalaus artėjimo metu vadovaujantis įprastine artėjimo technika (*Crew procedures for continuous descent arrival using conventional guidance*), Susijungiančių kelių metodo atvykimai be kurso instrukcijų (*Merging arrival flows without heading instructions*). Taip pat remiamasi disertacijų darbais bei straipsniais, kurių iš jų autorius Liling Ren.

Informacija dalyje aptariančioje praktinius procedūrų panaudojimus paimta iš tokių autorių, kaip F. Wuben, W. Busink darbų (*Environmental benefits of continuous descent approaches at Schiphol Airport compared with conventional approach procedures*), L. Erkelen (*Development of noise abatement procedures in the Netherlands*), J. Klarke (*Development, design, and flight test evaluation of a continuous descent approach procedure for nighttime operation at Louisville International Airport*).

Praktinėje dalyje vadovaujamasi ICAO DOC9931 bei Lietuvos aviacijos informacijos rinkinių schemomis.

Darbo apribojimai ir sunkumai. Pagrindinis apribojimas, su kuriuo buvo susidurta rašant darbą – literatūros stoka. Dėl to, jog CDA procedūra Vilniaus oro uoste pradėta taikyti dar visai neseniai, informacijos šia tema lietuvių kalba kol kas visiškai nėra. Teorija, vykdyti tyrimai ir kiti, su šia procedūra susiję duomenys, buvo rasti tik užsienio kalbomis. Literatūroje, kurioje apžvelgiami konkretūs optimalaus artėjimo tūpti procedūrą taikantys oro uostai, informacijos apie tai, jog ji naudojama ir Tarptautiniame Vilniaus oro uoste rasta nebuvo, o tai darbo eigą gerokai apsunkino.

Tyrimo metodai. Rašant darbą buvo taikomi kelių rūšių metodai. Teorinėje dalyje, aptariant triukšmo mažinimo būdus ir apibrėžiant optimalaus artėjimo tūpti procedūrą, naudojamas aprašomasis-analitinis metodas. Analizuojant CDA procedūros panaudojimą Amsterdamo ir Luizvilio oro uostose pasitelkiami tiek aprašomasis, tiek palyginamasis metodai. Galiausiai, aptariant optimalių artėjimo tūpti procedūrų panaudojimą Vilniaus oro uoste, vykdoma konkretaus atvejo analizė taip pat pritaikomas palyginamasis metodas.

Darbo struktūra. Darbą sudaro įvadas, penki dėstomi skyriai (dėstomoji dalis), išvados ir literatūros bei šaltinių sąrašas.

Pirmas skyrius skirtas pristatyti triukšmą kaip problemą bei aptarti galimus būdus triukšmo lygiui sumažinti.

Antroje dalyje apžvelgiamos optimalaus artėjimo tūpti procedūros. Jų konstrukcijų tipai, orlaivių artėjimo sekos sudarymo principai bei galimos priemonės analizuoti procedūrą tikrose situacijose.

Trečiojoje dalyje aptariama praktinė nauda Amsterdamo oro uoste lyginant CDA ir įprastinio artėjimo procedūras.

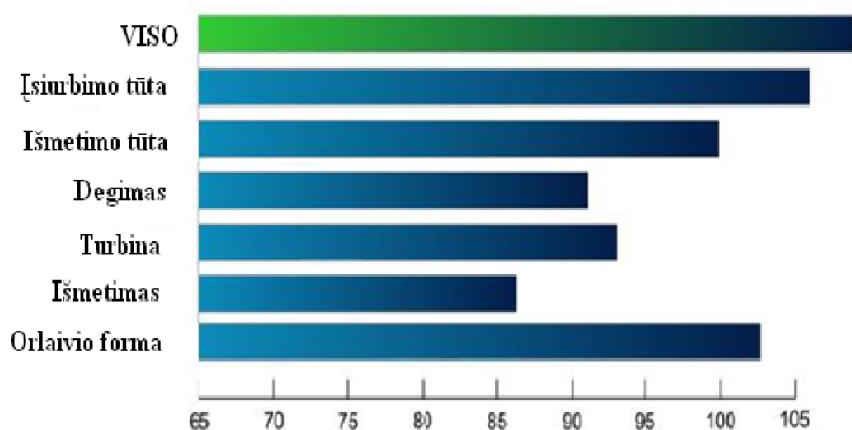
Ketvirtoje dalyje analizuojami Luizvilio oro uoste naudojama CDA procedūra, apžvelgiami orlaivių variklių, dinamikos, sklandmens parametrai bei pilotų atsiliepimai šių ir įprastinių artėjimo metu.

Penktojoje dalyje vadovaujantis antro skyriaus kriterijais analizuojama įprastinių procedūrų ir esamų CDA procedūrų Vilniaus oro uoste skirtumai. Lyginama praktikoje naudojamos CDA procedūros su ICAO rekomendacijomis.

Išvadose pateikti gautų rezultatų apibendrinimai.

1. TRIUKŠMO MAŽINIMO BŪDAI

Skrydžių skaičių didėjimas ir oro uostų plėtra tampa vis didesnė šių laikų problema. Tai yra todėl, kad dėl didelių oro srautų yra viršijamas triukšmo lygis oro uosto, bei oro kelų vietovėje. Triukšmas yra keliamas ne tik atvykstančių orlaivių, tačiau ir antžeminės technikos esančios oro uoste. Antžeminės technikos triukšmas yra žymiai mažesnis, bet dėl didelės koncentracijos jis taip pat prisideda prie lėktuvų keliamo triukšmo. Dėl miestų plėtros vis daugiau nusiskundimų yra sulaukiama iš gyventojų dėl didelio triukšmo lygio. Pagrindinės problemos yra keliamos dėl didelio orlaivių triukšmo ir jų srautų, kas sukelia sveikatos ir miego problemas. Pasak įvairių šaltinių, triukšmas bei oro tarša skatina streso lygio, nervingumo kilimą. Aviacijos keliamas triukšmas kaip pagrindinė problema buvo pastebėta jau 1960 metais, pradėjus komercinėje aviacijoje naudoti reaktyvinius variklius.



1 pav. Atskirų orlaivio dalių triukšmo kėlimas

Pasak FAA (*angl. Federal Aviation Authorities*) duomenų, nuo 1970 metų orlaivių triukšmo lygis išaugo septynis kartus. Tarptautiniai orlaivių triukšmo lygio sertifikavimo standartai buvo sukurti ICAO (Tarptautinės Civilinės Aviacijos Organizacijos) 1969 metais ir išspaudinta Čikagos Konvencijos 1 tome 16 priede. Antra dalis ir trečia dalis standartų buvo paskelbti 1976 metais. Ketvirta dalis galioja įtraukta nuo 2001 metų ir galioja visiems orlaiviams pagamintams 2006 ir vėliau. ICAO triukšmo mažinimo rekomendacijomis gali naudotis visos šalys narės ir taikyti jas praktikoje pradedant antra dalimi, kuri yra pradinė.

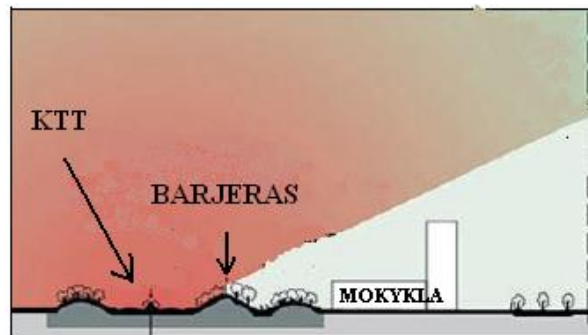
Šiuo metų orlaivių ir kitos oro uosto technikos triukšmo keliamas lygis yra sumažintas 75 % palyginus su 1970 metais iki sukuriant bendrus triukšmo lygio sertifikavimo standartus. Triukšmas oro uosto vietovėje gali priklausyti nuo skirtingų faktorių, kuriuos būtina apžvelgti ir nustatyti. Pagal šiuos faktorius turi būti sukurtas triukšmo mažinimo modelis. Dėl komercinių tikslų oro uostai gali įsileisti orlaivius

viršijančius triukšmo reikalavimus, tačiau jiems turi būti skirtos baudos, kurios yra nustatomos atsižvelgus į triukšmo sertifikatą išduotą pagal ICAO standartus.

Technologijų plėtra įgalino naujų orlaivių konstrukcijų panaudojimą, todėl triukšmas yra sumažintas. Kai kurie oro uostai stengdamiesi išvengti konfliktų su gyventojais sukūrė naujus planus, kuriuose yra numatoma tolesnė oro uostų plėtra neapgyvendintose vietovėse. Orlaivių triukšmą yra galima suskirstyti į dvi kategorijas. Pirmą kategoriją–triukšmo įtaka žmonių elgesiui. Antrą kategoriją–įtaka psichologiniai ir fiziniai žmonių savijautai. Pirmuoju atveju įtaka žmonių elgsenai pastebima per jų bendravimą, protinį pajėgumą, bei atsipalaiduotumą. Psichologiniai ir fiziniai požymiai–pažeista arba prarasta klausa, didesnis kraujo spaudimas arba padidėjęs streso hormono išsiskirimas.

ICAO sukurta metodika leidžia sumažinti orlaivių triukšmą nedideliuose oro uostuose, tuo pačiu tenkinant gamtos apsaugos bei ekonomikos aspektus. Ši metodika skirstoma į 4 dalis:

1. Triukšmo mažinimas pačiame jo šaltinyje;
2. Tikslus planavimas bei vietovės išnaudojimas;
3. Triukšmo mažinimo procedūros;
4. Veiklos draudimai orlaiviams neatitinkantiems nustatytų reikalavimų.



2 pav. Triukšmo krypties valdymas naudojant barjerus

Įprastinio tūpimo procedūra prasideda orlaiviui esant tūptinėje 1500–2000 pėdų aukštyje virš atvykimo oro uosto. Vadovaujantis tūpimo pagal prietaisų sistema ILS pirmiausiai pilotas gauna signalą iš krypties švyturio, kuris priveda orlaivį iki tako išilginės linijos ašies. Skrisdamas šioje plokštumoje pilotas gavęs signalą iš nuolydžio švyturio (kuris sudaro 3 laipsnius su horizontalia plokštuma) pradeda žemėjimą. Skrisdamas šiuo kampu pilotas priveda orlaivį iki tako slenksčio 15 metrų aukštyje, nuo kurio baigia tūpimą. Tūpimo metu orlaivis konfigūracija yra atitinkamai–užsparniai artėjimo artėjimo padėtyje, važiuoklė išleista, užsparniai tūpimo padėtyje. Be to, pilotas nuolat gauna signalus iš tūpimo pagal prietaisus sistemos azimuto ir nuolydžio švyturių. Įprastai tam, kad išlaikytume orlaivį ore iš pradžių horizontaliame skrydyje su artėjimo užsparniais, po to žemėjimo padėtyje su išleista važiuokle ir tūpimo užsparniais, variklio trauka turi būti

padidinta tam, kad atsvertų bendrą pasipriešinimo jėgą, dėl to didesnis triukšmas yra skleidžiamas iš pačių variklių.

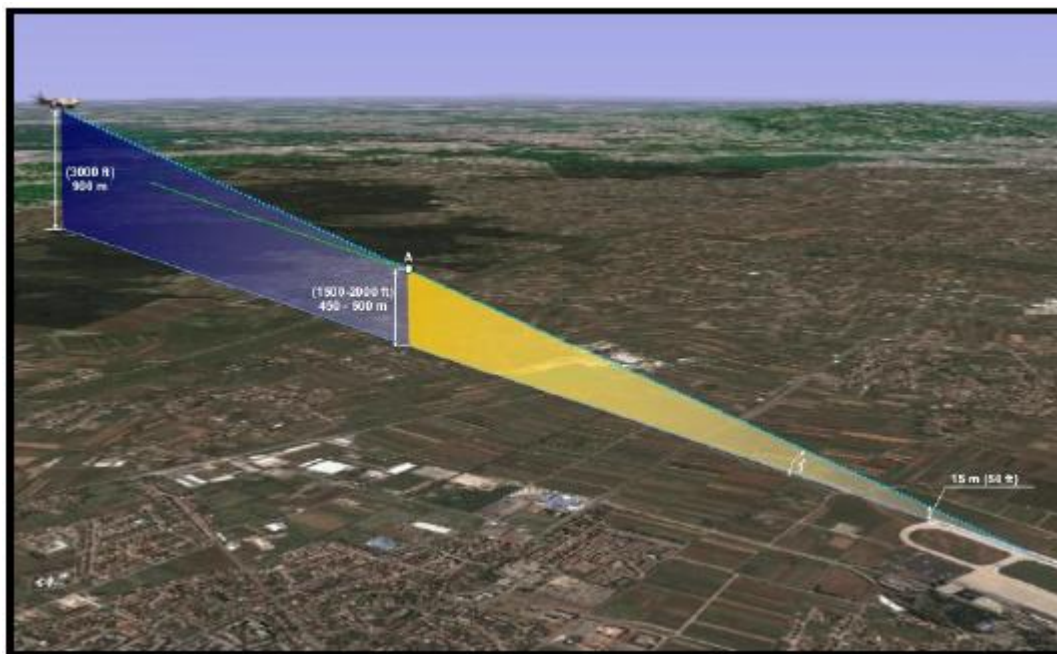


3 pav. Įprastinė tūpimo procedūra

Triukšmas gali būti valdomas keičiamas orlaivių artėjimų ir tūpimų techniką. Be įprastinių tūpimo procedūrų ir barjerų yra keli modeliai, kurie gali sumažinti triukšmo lygius oro uosto zonoje.

1.1. Į tūptinę įėjimo aukščio didinimas

Tai viena iš plačiausiai naudojamų procedūrų, kuri nereikalauja jokios specialios įrangos nei orlaivyje, nei ant žemės. Vietoje orlaivio skridimo horizontaliai iki pagaunant signalą iš nuolydžio švyturio 1500 - 2000 pėdų aukštyje, horizontalaus skrydžio segmentais yra vykdomas 3000 pėdų aukštyje iki nuolydžio švyturio signalo leidžiančio žemėjimą iki tako sleksčio. Nes skrydis yra vykdomas didesniame aukštyje, triukšmo zona žemės paviršiuje bus mažesnė. Abiejais atvejais orlaivio tūpimo konfigūracija išlieka tokia pati. Naudojant šią procedūrą triukšmas yra sumažintas iki pradinio žemėjimo taško, kuris atitinka įprastinio tūpimo procedūrą. Nuo šiuo taško triukšmo zona išlieka tokia pati kaip ir įprastinio tūpimo metu.



4 pav. Aukščio didinimas

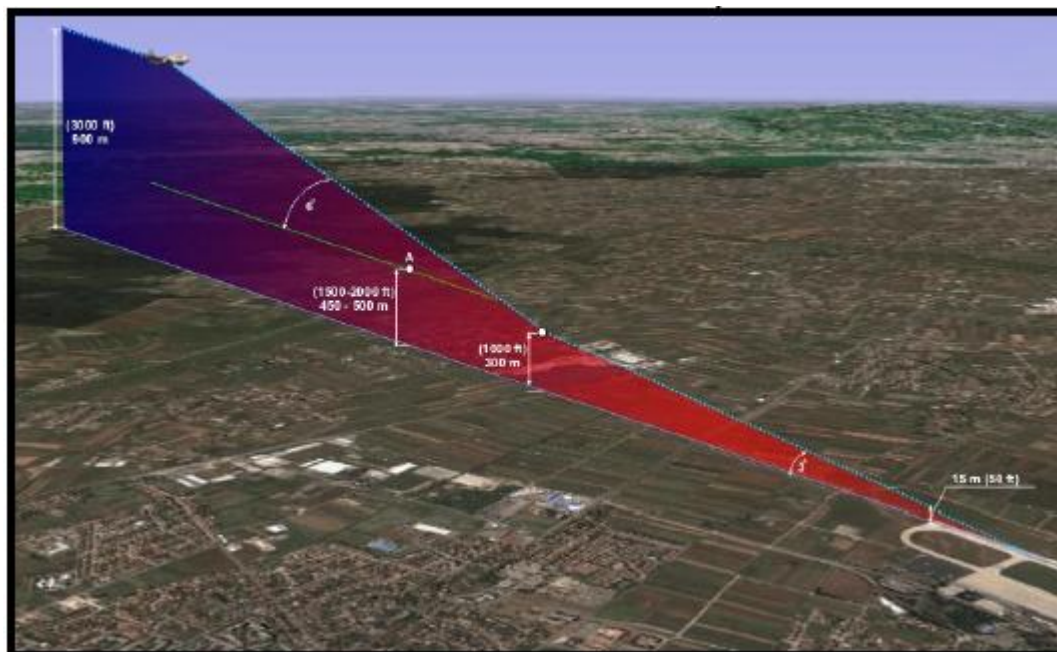
1.2. *Lufthansa* procedūra

Ši procedūra nereikalauja jokios papildomos antžeminės ar borto įrangos. Artėjimas iki pagaunant nuolydžio švyturį yra vykdomas 3000 pėdų aukštyje kaip įprastinės procedūros metu, tik užsparniai yra išlaidžiami palaipsniui. Šiuo atveju orlaivio triukšmas buna mažesnis, nes pasipriešinimo jėga su mažesnių užsparnių išleidimo konfigūracija yra mažesnė. Tai reikalauja mažesnės variklių traukos. Orlaivis kiek galima ilgiau išlaikomas mažesnėje pasipriešinimo konfigūracijoje. Ši procedūra dar vadinama mažo pasipriešinimo – mažo slėgio procedūra. 1500 pėdų aukštyje važiuoklė išleidžiama, 700 pėdų aukštyje visi užsparniai išleidžiami. Tada tik orlaivis buna galutinėje tūpimo konfigūracijoje, triukšmo lygis tampa toks pat kaip ir įprastinio tūpimo metu. Nuo to momento pilotas turi stabilizuoti skrydį iki 500 pėdų pagal radijo aukštmatį – tūpimo greitis, krypties ir azimuto švyturių nukrypimai turi įsitemkti į saugias ribas. Ši procedūra ne tik sumažina triukšmo lygį, bet ir sutaupo kuro.

1.3. Artėjimas dviem etapais

Norint panaudoti šią procedūrą orlaivis ir oro uostas turi turėti papildomą elektroninę įrangą. Juos metu orlaivis skrenda horizontaliai 3000 pėdų aukštyje iki tam tikro taško, kuriame pilotas gauna signalą pradėti žemėjimą 6 laipsnių kampų. Orlaivis leidžiasi šiuo kampų iki 1000 pėdų aukščio, kuriame jis gauna standartinį 3 laipsnių ILS sistemos signalą. Nuo kurio galutinė artėjimo dalis ir tūpimas yra vykdomi. Prieš tai minėtose procedūrose orlaivio artėjimo kampas buvo 3 laipsniai. Šioje procedūros pirmoje dalyje orlaivis turėtų žemėti su dvigubai didesniu kampų. Šis metodas reikalauja papildomo pilotų mokymo. Triukšmas

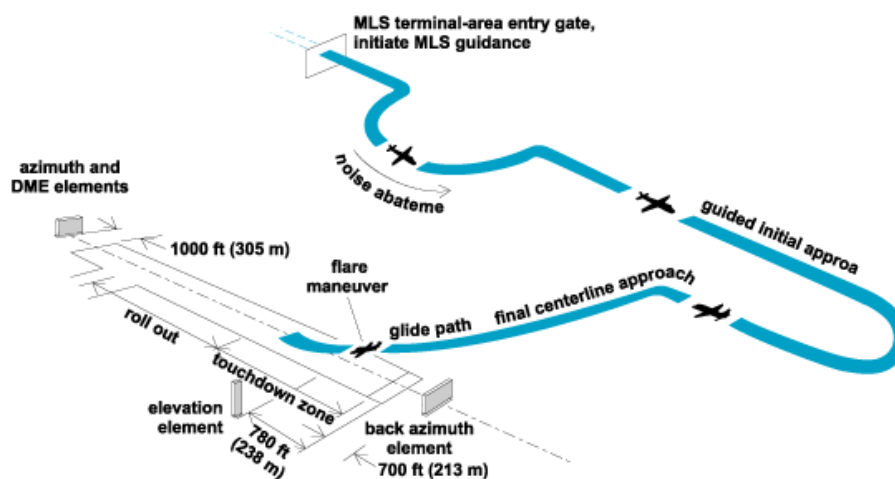
pradeda didėti nuo 11,6 km atstumo ir galiausiai tampa toks pat kaip standartinė procedūra 1000 pėdų aukštyje likus maždaug 6,5 km iki tako.



5 pav. Artėjimas dviem etapais

1.4. Artėjimas, kilimas išlenktu keliu

Mikrobangų tūpimo sistema (MLS) leidžia naudoti artėjimus išlenkta kelio trajektorija, baigiant artėjimą horizontaliame skrydyje tako ašyje. Jeigu tako išilginėje ašyje yra zona, kurioje triukšmas yra ribojamas, panaudojus MLS sistemą yra įmanoma išvengti skridimo virš tos vietos, naudojant išlenktą artėjimo trajektoriją. Ši procedūra reikalauja specialios borto ir antžeminės įrangos. Kilimo metu vietoje tiesaus skrydžio gali būti naudojama išlenkta kelio trajektorija.



6 pav. MLS

2. OPTIMALAUS ARTĖJIMO PROCEDŪRA

CDA – tai orlaivio valdymo technika, kai atvykstantis orlaivis pradeda žemėti nuo optimalaus taško, kuris nustatomas atsižvelgiant į orlaivio tipą, svorį, atstumą iki tako slenksčio, vėjo kryptį ir greitį, su minimalia trauka, išvengiant horizontalių skrydžio segmentų, laikantis nustatytų orlaivio naudojimo procedūrų ir skrydžių vadovų pagalbos. Vertikalus skrydžio profilis atitinka pastovaus žemėjimo kelią, kurio metu perėjimai į horizontalaus skrydžio segmentus yra išvengiami arba reikalingi tik sumažinti orlaivio greitį prieš įeinant į tūptinę pagal tūpimo pagal prietaisus sistemą ILS. Vienas iš pagrindinių sąlygų nulemiančių gerai panaudotą optimalaus artėjimo procedūrą – tikslus planavimas. Vertikalaus žemėjimo kelias yra tiesiogiai priklausomas nuo orlaivo tipo, jo tikslaus svorio, oro temperatūros, slėgio. Taigi kiekvieno skrydžio metu pilotas turi gerai įvertinti oro sąlygas, vėjo kryptį, gerai išmanyti lėktuvo technines charakteristikas, orlaivio apkrovimą visose skrydžio atkarpose. Tik atsižvelgus į šiuos parametrus ir žinant tiksliai kuriame nuotolyje nuo oro uosto ir kokiam aukštyje galima pradėti vykdyti optimalų artėjimą tūpimui. Apskaičiuoti žemėjimo profilį galima keliais būdais :

1. Rankiniu būdu;
2. Skrydžio duomenų kompiuteriu (FMS);
3. Vertikalios navigacijos sistema (VNAV).

Veinas iš pagrindinių keliamų uždavinių į užtikrinimas saugaus ir efektyvaus oro srauto valdymas. Šią problemą iš dalies sprendžia skrydžių vadovas išlaikydamas saugius atstumus tarp orlaivių ir kontroliuodamas skrydžius. Skrydžių efektyvumas priklauso taip pat nuo suinteresuotosios pusės – aviakompanijų, be to nuo oro paslaugų tiekėjo tikslų. Norint pasiekti aukštų rezultatų būtinas bendradarbiavimas tarp paslaugų tiekėjo ir aviakompanijų. Pasiiekti bendrą išvykimų ir atvykimų reisų skaičių optimalų gali tekti mažinant atstumus tarp orlaivių iki minimalių saugių atstumų, didinant, apribojant artėjančių orlaivių greitį, naudojant vektoriavimą, - tai neleidžia visai optimaliai išnaudoti artėjimo procedūros. Vienas iš labiausiai rekomenduojamų efektyvumo ir oro uosto pajėgumo gerinimo būdų yra ankstyvas orlaivių atvykimo sekos dėstymas, kitas, nedarantis neigiamos įtakos – optimalus išnaudojimas oro erdvės struktūros bei dideliuose oro uostuose naudojant vienu metu du ir daugiau tūpimo ir kilimo takų. Pagrindiniai optimalaus artėjimo procedūros privalumai gali būti išskirstyti taip:

1. Daug efektyviau panaudota oro erdvė ir oro kelių išdėstymas;
2. Nuoseklesnis skrydžio žemėjimo kelias;
3. Piloto – skrydžio vadovo darbo krūvio ir radijo ryšio apkrovos mažinimas;

4. Išlaidų optimalumo ir naudos aplinkai didinimas;
5. Mažesnė kontroliuoto skrydžio į žemę tikimybę (CFIT);
6. Leidžiama veikla vietovėse, kur ji dėl triukšmo apribojimų būtų apribota arba uždrausta.

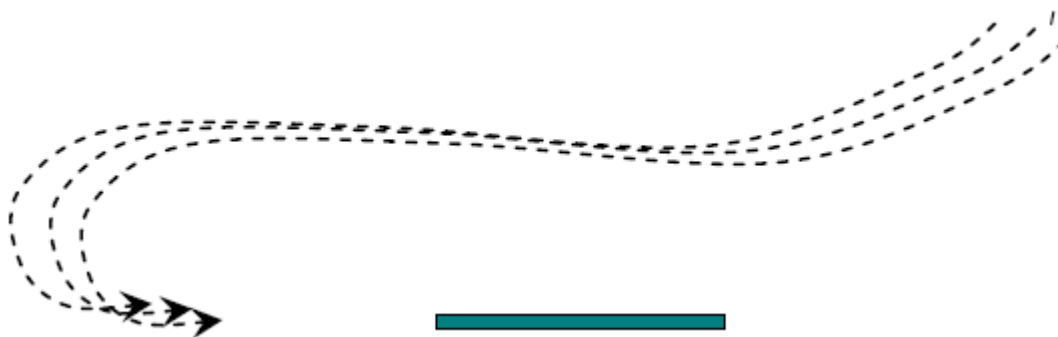
Šiuo metu būtų galima optimalaus artėjimo proceduras suskirstyti į dvi pagrindines grupes pagal fiksuotus horizontalaus kelio segmentus. Juose naudojami skirtingi metodai pagal, kuriuos nustatomas atstumas iki tako:

1. Atvirojo kelio konstrukcija;
2. Uždarojo kelio konstrukcija.

2.1. Atvirojo kelio konstrukcija

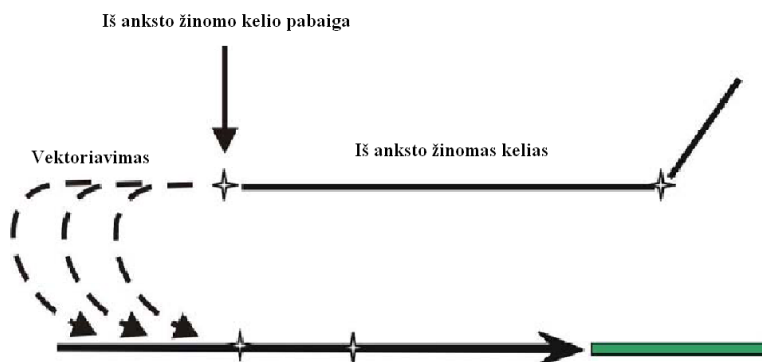
Atvirojo kelio konstrukcijoje dalis kelio arba visas kelias susideda iš vektoriavimo, o žemėjimo procedūra baigiasi prie galutinio artėjimo kontrolinio taško (FAF). Šios procedūros metu skrydžių vadovas visiškai kontroliuoja orlaivio judėjimą, sudarydamas orlaivių leidimosi seką pagal kurią gali nusiųsti orlaivį į laukimo zona arba vektoriuoti. Šios procedūros metu yra rekomenduojama, kad skrydžių vadovas kiek įmanoma tiksliau suteiktų likusio kelio informaciją iki tako. Žinodamas šią informaciją pilotas gali apsiskaičiuoti optimalaus artėjimo žemėjimo greitį iki galutinio artėjimo kontrolinio taško. Dvi pagrindinės rūšys, nusakančios šią konstrukciją:

1. *Vektoriavimo procedūra.* Orlaivis yra vektoriuojamas ir pilotui yra duodama informacija apie apstumą iki tako slenksčio. Pagal ją jis nusprendžia kada pradėti žemėjimą.



7 pav. Vektoriavimo procedūra

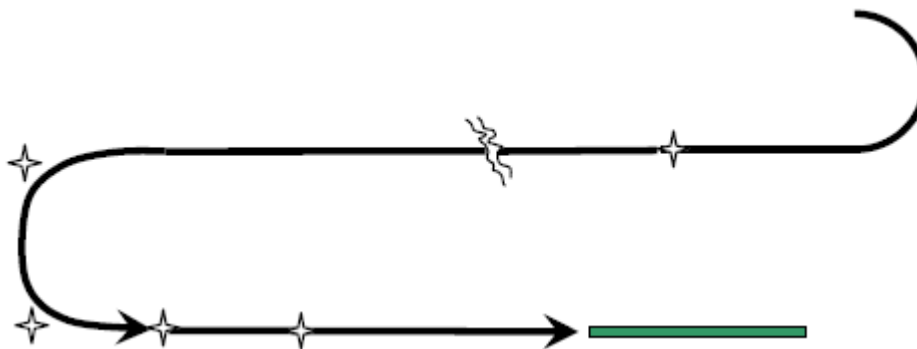
2. *Atvirojo kelio procedūra iki pavėjinės KTT dalies.* Ši procedūra yra kombinacija tarp fiksuoto kelio ir vektoriavimo. Joje orlaivis vykdo CDA iki nustatyto taško nuo kurio prasideda vektoriavimas, kuris baigiasi FAF.



8 pav. Atvira procedūra iki grįžtinės

2.2. Uždarojo kelio konstrukcija

Uždarojo kelio konstrukcijos ypatinga tuom, kad horizontalaus segmento kelias iki galutinio artėjimo kontrolinio taško (FAF) yra iš anksto žinomas, taip pat yra žinomas tikslus atstumas nuo žemėjimo pradžios iki tako. Uždarojo kelio konstrukcijos pavyzdys būtų optimali artėjimo procedūra įtraukta į standartinio atvykimo schemą (STAR), prasidedanti nuo STAR atvykimo schemos pradžios iki jos pabaigos - pradinio artėjimo kontrolinio taško (IAF), nuo kurio toliau prasideda artėjimo pagal prietaisų procedūra, kuri baigiasi galutiniame artėjimo kontroliniame taške. Šioje procedūroje gali būti aprašyti pereinami skrydžio, aukščio lygiai, greičio apribojimai. Ši kelio konstrukcija išlaiko pastovaus žemėjimo artėjimą ir tiksliai apibrėžia atstumus pagal kuriuos skrydžio duomenų kompiuteris automatiškai apskaičiuoja optimalų žemėjimą.



9 pav. Uždara kelio konstrukcija

2.3. Orlaivių atvykimo eilės sudarymo metodai

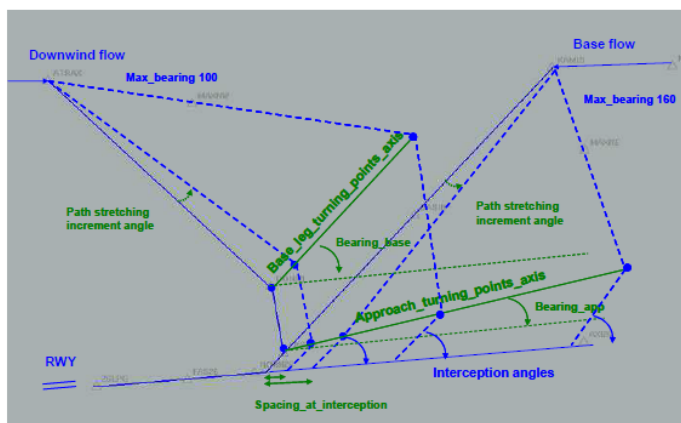
Išskyrus esant mažam eismui yra reikalingi oro srauto valdymo metodai leidžiantys sustatyti orlaivius į reikalingą atvykimo seką tam, kad būtų išlaikyti saugūs atstumai ir optimalus orlaivių atvykimų skaičius. Kiti metodai gali būti panaudoti vykdant optimalių artėjimų procedūras.

1. Šiuo metu sparčiai plėtojama automatizuota orlaivių artėjimo sekos sudarymo sistema. Jos metu orlaiviui yra užprogramuojamas reikalingas atvykimo laikas virš tam tikro taško, naudojamos orlaivių stebėjimo, bei srauto valdymo sistemos.

2. *Greičio kontrolė.* Pats efektyviausias oro srautų valdymo metodas. Ypač efektyvus naudojant ankstyvas greičio pataisas bei skiriant laiko joms įsigaliooti, arba metodas naudojamas tiesiogiai greičio ribojimam. Greičio kontrolė leidžia tiesiogiai išlaikyti orlaivių atvykimo skaičių ir yra skirta išlaikyti ir užtikrinti saugius atsumus tarp skirtingų tipo orlaivių. Mažos greičio korekcijos užtikrina orlaivio skridimą išanksto suplanuoto ekonomiškio skrydžio ribose. Dideli greičio ribojimai daro neigiamą įtaką skrydžiui priversdami nukrypti nuo ekonomiškio skrydžio ribų.

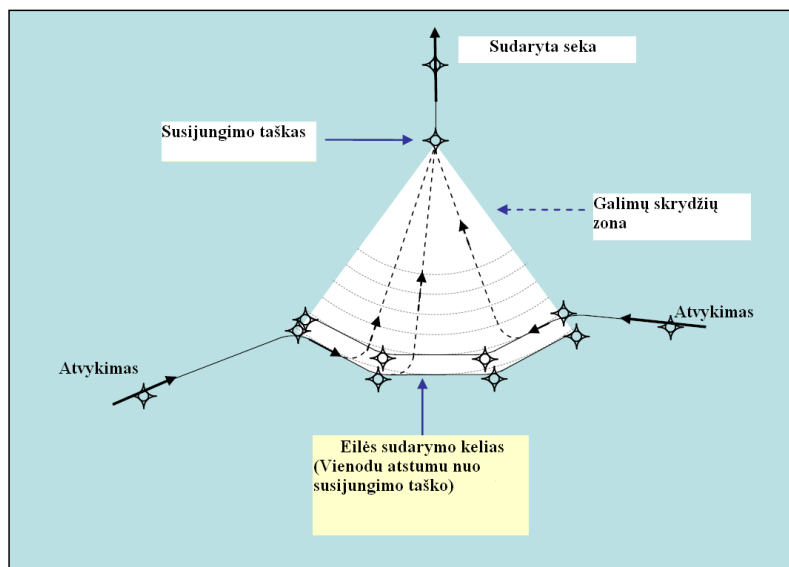
3. *Vektoriavimas.* Vektoriavimas vienas iš lanksčiausių oro srauto valdymo metodų leidžiančių išlaikyti orlaivių atvykimo skaičių optimalų. Tai dažniausiai naudojamas būdas. Tačiau tai mažiausiai nuspėjamas būdas atsižvelgiant į atstumą ir vektoriavimo laiką, kuris verčia pilotus reaguoti į situaciją negu planuoti į ateitį. Suteikiant informaciją apie atstumą iki tako gali pilotam padėti sumažinti neužinomumą. Šiuos procedūros metu orlaivis gali būti vektoriuojamas atviros konstrukcijos artėjimo metu arba uždaros konstrukcijos metu jeigu reikia išlaikyti saugų atstumą tarp orlaivių. Uždaros konstrukcijos artėjimo metu rekomenduojama pirmiausiai taikyti mažus ankstyvus greičio apribojimus nei vektoriavimą.

4. *Kelio tempimo metodas.* Šis metodas tai suplanuota vektoriavimo procedūra su taškais įvestais į FMS, žinomi pilotam ir skrydžių vadovam. Ši procedūra gali būti naudojama norint padidinti saugius atstumus tarp orlaivių tuo pačiu vykdant CDO. Kelio tempimo metodas gali būti išduotas vietoje greičio korekcijų metodo.



10 pav. Kelio tempimo metodas

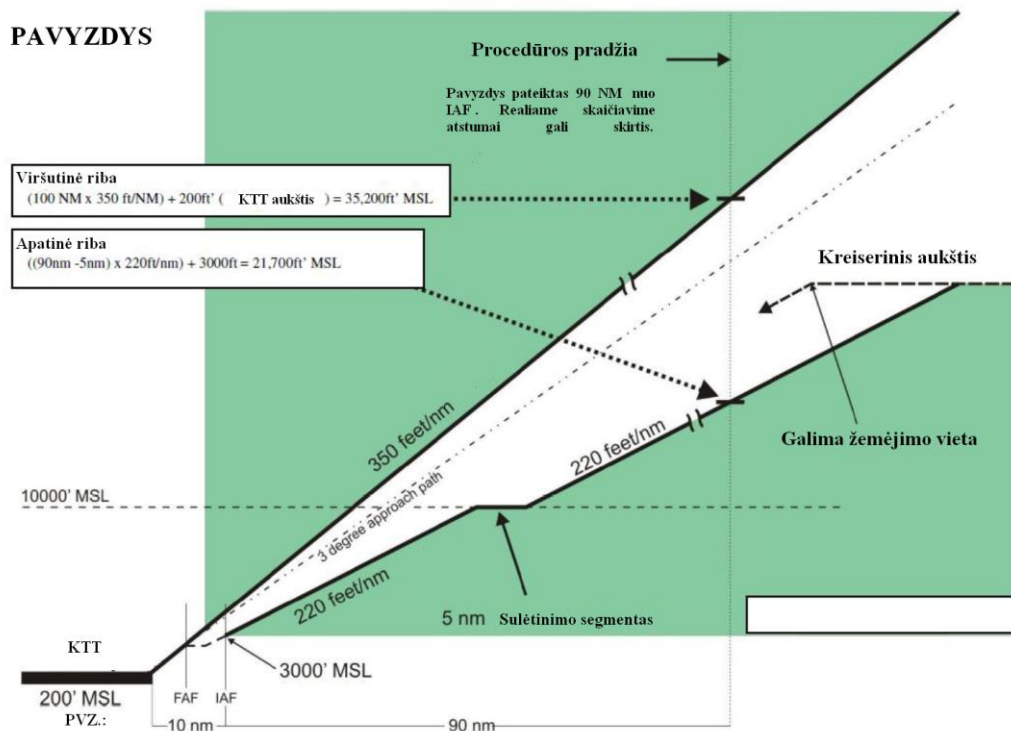
5. *Susijungiančių kelių metodas*. Šio metodo tikslas yra pagerinti ir standartizuoti prieigų valdymo zonos (TMA) srautus naudojant precizinę zonos navigaciją (P-RNAV) bei vykdant CDA esant dideliems oro srautams. Šį metodą tikimasi panaudoti Oslo (2011), Dublino (2011) ir Romos oro uostose. Šio metodo metu orlaivis vykdo optimalaus artėjimo procedūrą iki sekos sudarymo lanko, kuriame privalo išlaikyti horizontalų skrydį iki tol kol gaus leidimą tęsti skrydį į susijungimo tašką. Atstumai tarp susijungimo taško ir lanko yra pastovūs. Orlaivių sekos sudarymas vykdomas nukreipiant tinkamu laiku orlaivį į susijungimo tašką. Šios procedūros metu orlaivis seka zonos navigacijos RNAV taškus, kurie iš anksto yra suvesti į FMS kompiuterį. Esant mažiems srautams orlaiviui bus leista tiesiai skristi į susijungimo tašką neskrendant sekos sudarymo lanku.



11 pav. Susijungiančių kelių metodas

2.4. Optimalaus žemėjimo profilio kurimo principai

Taikant uždaros arba atviros konstrukcijos optimalaus artėjimo procedūras pirmiausiai reikėtų pradėti nuo horizontalaus kelio planavimo. Būtina atsižvelgti į aplinkos suvaržymus ir draudimus, kitų orlaivių kelius, oro uosto susitarimus, oro erdvės struktūrą ir kliūtis esančias vietovėje. Kiek įmanoma stengtis mažinti skrydžio atstumą. Kai tik pagrindinis horizontalus kelias yra suprojektuotas aukščio ribojimai turi būti pažymėti. Šie ribojimai turi būti minimalūs reikalingi išvengti pavojingų suartėjimų su žeme, kitų orlaivių srautais, atitikti oro uosto, aplinkos suvaržymus ir tinkamai suderinti su skrydžio valdymo centrų koordinacijos reikalavimais. Kai premilinarus kelias su aukščiais yra išdėstomas, jis gali būti apribotas kitų reikalavimų. Keletas aukščio/kelio pakeitimų gali būti reikalingi iki pilnai paruošiant optimalų kelią iki tako. Uždaros kelio konstrukcijos metu tai atitiks trumpiausią atstumą iki tako, tuo tarpu atviros konstrukcijos metu tai tarnaus kaip atskaita pagal kurią bus galima orientuotis kada pradėti vektoriavimą.



12 pav. CDA vertikalios žemėjimo profilio konstrukcija

Paveikslėlyje 12 pateiktas pagrindinis vertikalaus žemėjimo profilio konstrukcijos pavyzdys. Šiame pavyzdyje aukščių diapazonas pateikiamas platus ir atitinkantis visų orlaivių tipus. Vietovėse su aukštais žemės paviršiais ir kliūtimis, oro uostų suvaržymais, oro erdvės apribojimais ir kitų orlaivų keliais labiau patobulintas profilis būtų reikalaujamas įtraukiant platesnį modeliavimą ir simuliacijas tam, kad sukurti platesnę procedūrą tinkančią didesniam orlaivių diapazonui išlaikant minimalią įtaką oro erdvės geometrijai ir kitiems oro srautams. Tačiau mažo apkrovimo oro erdvėje galinčioje išlaikyti tarp 2–3,3 laipsnių žemėjimo profilius tik maži modeliavimo reikalavimai bus reikalingi ir ši žemėjimo profilio konstrukcijos schema gali tarnauti kaip lengvai pritaikomas modelis.

Pavyzdyje pateiktas standartinio atvykimo pagal prietaisus (STAR) procedūra sujungta su artėjimo pagal prietaisus procedūra. Pagal kurią daugelis FMS gali atliktai pilnai automatizuotą horizontalios/vertikalios navigacijos (LNAV/VNAV) žemėjimą. Artėjimo pagal prietaisus procedūra turi galutini artėjimo kontrolinį tašką (FAF/FAP), vidurio kontrolinį tašką (IF) ir pradini artėjimo kontrolinį tašką (IAF). STAR procedūra baigiasi virš IAF nustatytame aukštyje arba duotame intervale. Tai leidžia FMS sujungti STAR su artėjimo procedūra. Artėjimo pagal prietaisus procedūra yra padaryta taip, kad iki tako slenksčio užtikrintų pastovų 3 laipsnių žemėjimą kas atitinka apie 300 ft/NM žemėjimo spartą.

STAR atvykimo aukščio koridorius įprastai kuriamas taip, kad leistų daugelio orlaivių žemėjimą netrukdomai. Koridorius yra apibrėžtas viršutine ir apatine riba.

Viršutinė riba yra apibrėžta kaip jos aukščiau ir žemiau (at and below) paprastai norint atskirti kitus oro srautus. Viršutinė riba prasideda nuo tako slenksčio ir kyla 350 ft/NM sparta, kuri yra pakankama daugeliui orlaivių. Pavyzdžiui, norint apsiskaičiuoti viršutinę ribą reikalinga orlaivių srautui 100 NM atstumu nuo tako esant 200 ft tako išaukštėjimui virš tikrojo jūros lygio (MSL), skaičiavimas būtų:

$$\begin{aligned} &(\text{Atstumas nuo tako slenksčio NM} \times 350 \text{ ft/NM}) + \text{Tako išaukštėjimas} = \text{Viršutinė riba} \\ &(100\text{NM} \times 350 \text{ ft/NM}) + 200 \text{ ft} = 35200 \text{ ft} \end{aligned}$$

Apatinė riba skirta užtikrinti saugų aukštį virš kliučių, saugų atstumą tarp kitų oro kelių, dėl skrydžio valdymo koordinavimo tikslų, bei siekiant atitikti oro uosto apribojimus. Žemutinė riba yra skaičiuojama nuo pradinio artėjimo kontrolinio taško (IAF) aukščio ir kyla 220 ft/NM sparta iki horizontalaus 5 NM segmento, skirta orlaivių greičio sumažinimui prieš įskrendant į TMA zona. Po horizontalaus segmento kyla toliau 220 ft/NM sparta. Pavyzdžiui, norint apsiskaičiuoti žemutinę ribą 90 NM atstumu nuo IAF esančio 3000 ft aukštyje nuo MSL, skaičiavimas būtų:

$$\begin{aligned} &(\text{Atstumas nuo IAF} - 5 \text{ NM}) \times 220 \text{ ft/NM} + \text{IAF Aukštis} = \text{Apatinė riba} \\ &90 \text{ NM} - 5 \text{ NM (horizontalus segmentas)} = 85 \text{ NM} \times 220 \text{ ft/NM} = 18700 \text{ ft} + 3000 \text{ ft (IAF aukštis)} = \\ &21700 \text{ ft} \end{aligned}$$

2.5. Skrydžių simuliacija

Skrydžių simuliacijos analizė yra vienas iš pagrindinių būdų užtikrinančių saugų optimalių artėjimo ir tūpimo procedūrų panaudojimą bei vienas iš įrankių užtikrinti šių procedūrų prieinamumą aviakompanijoms eksploatuojančius tam tikrus orlaivių tipus oro uoste. Tam, kad gautume integruotą „Monte Carlo“ simulatorių pagal kurį būtų galima rasti visas įmanomas orlaivių trajektorijas būtina sujungti orlaivio simulatorių su piloto reakcijos, vėjo ir orlaivių masės modeliais. Centrinė Monte Carlo dalis tai orlaivio simulatorius. Kiekvieno orlaivio tipo modelis yra kuriamas pagal gamintojo aerodinaminius bei variklių charakteristinius duomenis. Simuliatoriuje trijų orlaivio ašių kontrolė ir akseleratoriaus yra valdomi atitinkamai autopiloto ir autoakseleratoriaus. Aukščio, greičio ir kelio paklaidos yra impulsai šiuom sistemom kontrliuoti skrydį. Priklausomai nuo skrydžio sąlygų šios sistemos gali veikti keliais medeliais. Visi modeliai reikalingi atlikti artėjimą yra įvedami į sistemos atmintį. Vadovaujantis jais orlaivis gali laikyti

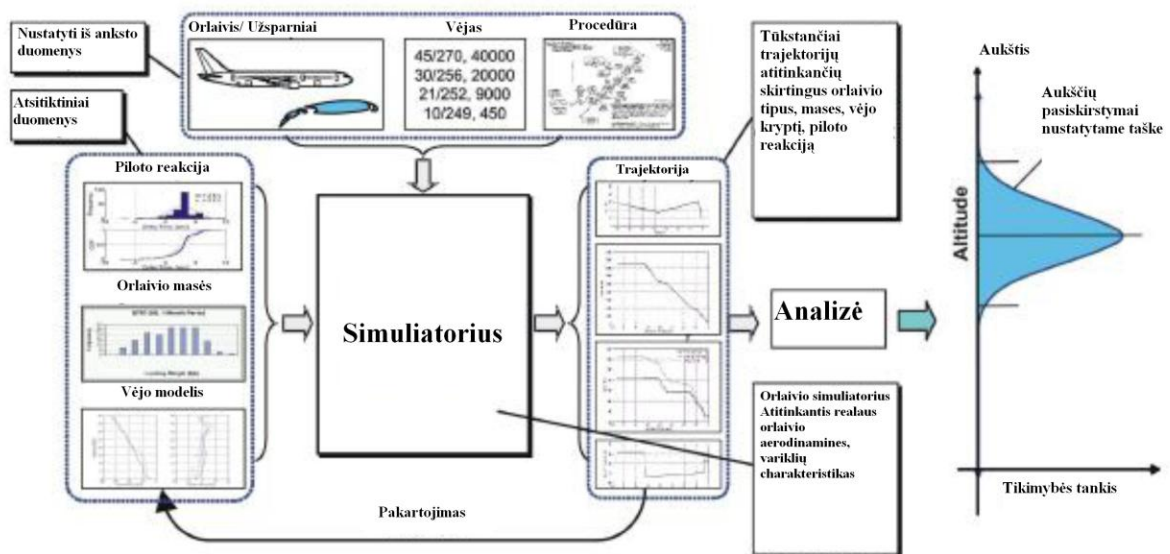
aukštį ir greitį; laikyti greitį ir žemėjimo kampą arba sekti užduotą vertikalaus žemėjimo profilį pagal aukščio, greičio ir variklių nustatymus.

Be to simulatorius turi ir FMS. FMS modelis turi pagrindines RNAV funkcijas. Prieš vykdydant procedūrą FMS sumodeliuoja horizontalų skrydį (naudojant LNAV funkciją) pagal iš anksto įvestus taškus ir vertikalų skrydžio kelią (VNAV funkcija) pagal duotus aukščio/greičio apribojimus tuose taškuose. Jeigu atitinkami aukščio/greičio apribojimai yra suvesti tai VNAV gali apskaičiuoti žemėjimą su minimalia trauka nuo kreiserinio skrydžio lygio iki pa FAF. Vykdydant procedūrą FMS pastoviai kontroliuoja orlaivio būseną ir lygina jas su apskaičiuotomis LNAV ir VNAV sistemų trajektorijomis. FMS parenka tinkamus modelių signalus kontroliuojančius autopilotą ir autoakseleratorių pagal užduotą skrydžio trajektoriją.

Kol orlaivis yra valdomas FMS pilotas yra atsakingas už užsparnių, važiuoklės ir oro stabdžių kontrolę. Monte Carlo simuliacijos metu piloto reakcija yra modeliuojamas kaip vėlavimas laiku išleisti važiuoklę, užsparnius. Pirmiausia informacija apie reikalinga užsparnių, važiuoklės padėties pakeitima yra imama iš orlaivio skrydžio vykdymo vadovo. Tada prie jos yra pridedamas piloto reakcijos vėlavimo koeficientas, kuris buvo apskaičiuotas Ho ir Clarke (Ho et al. 2003).

Vėjas pats svarbiausias faktorius lementis orlaivių trajektorijas. Vėjo modelis yra sudaromas naudojant ilgalaikių stebėjimų statistinius duomenis pagal kuriuos apskaičiuojama vėjo įtaka viso žemėjimo metu. Taip pat yra įvertinami trumpalaikiai vėjo pokyčiai, kurie gali turėti įtakos atvykstančiams orlaiviams.

Atvykstančių orlaivių svoriai daro didelę įtaką skrydžių trajektorijom todėl simuliacijų metu yra naudojami tam tikro laikotarpio orlaivių svorių statistiniai duomenys.

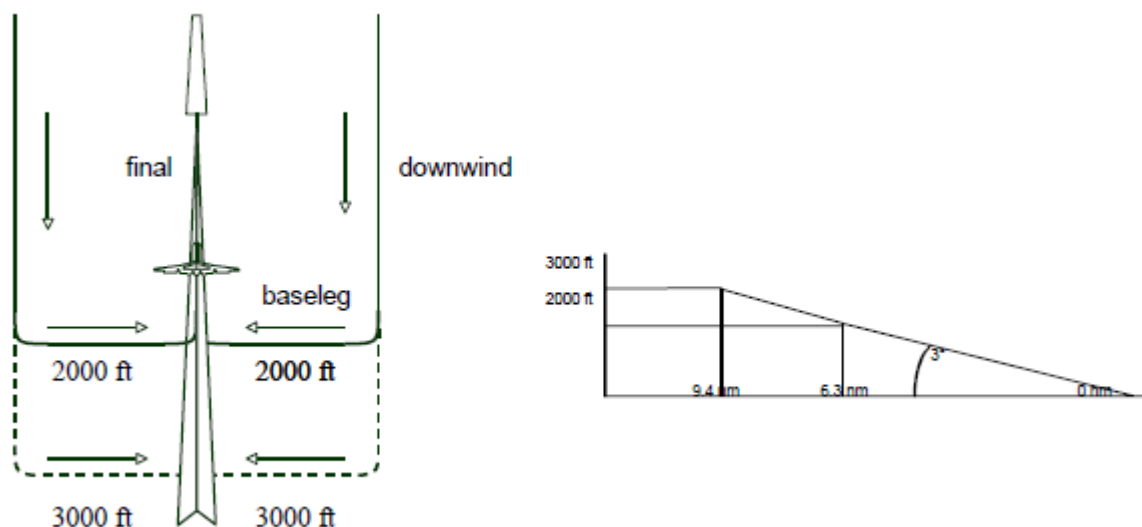


13 pav. Monte Carlo simuliacija

3. PANAUDOTŲ OPTIMALIŲ ARTĖJIMO TŪPTI IR TŪPIMO PROCEDŪRŲ REZULTATŲ AMSTERDAMO ORO UOSTE APTARIMAS

Orlaivių triukšmas yra didelė problema Amsterdamo Schiphol oro uoste. Todėl 1996 Olandijos Susisiekimo ministerija pasirašė triukšmo aktus, kuriuose buvo nustatytos oro uosto triukšmo zonos. Kiekvienais metais triukšmas yra matuojamas ir stebima, kad jis būtų leistinose normose. Tai riboja oro uosto plėtrą – išvykimų ir atvykimų skaičių. Vienas iš būdų sumažinti triukšmą buvo CDA panaudojimas. Todėl jau daugelį metų CDA yra naudojama nakties metu Amsterdamo oro uoste. Pirmiausiai ši procedūra buvo pritaikyta atvykimui taku 06. Pirmieji tyrimų atlikti tarp oro uosto vietovėje gyvenančių žmonių parodė žymų triukšmo lygio sumažėjimą nakties metu. Dėl to buvo nuspręsta atlikti platesnius tyrimus apimančius triukšmo zonų, kuro sunaudojimo palyginimus su įprastiniais artėjimais. Eksperimento metu ištirti pakutinių 45 km artėjimo ir tūpimo skrydžių duomenys iš 10 Boeing 747–400 ir 737–300/400 lėktuvų reisų vykdžiusių procedūras:

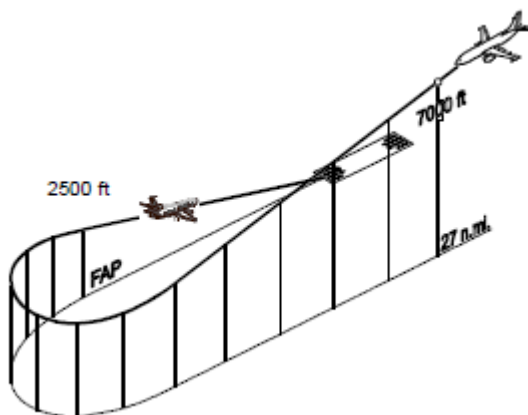
1. CDA procedūra vykdoma nuo 7000 ft.
2. Vektoriavimas su įėjimu į tūptinę 2000 ft aukštyje.
3. Vektoriavimas su įėjimu į tūptinę 3000 ft aukštyje.



14 pav. Įprastinio artėjimo procedūra

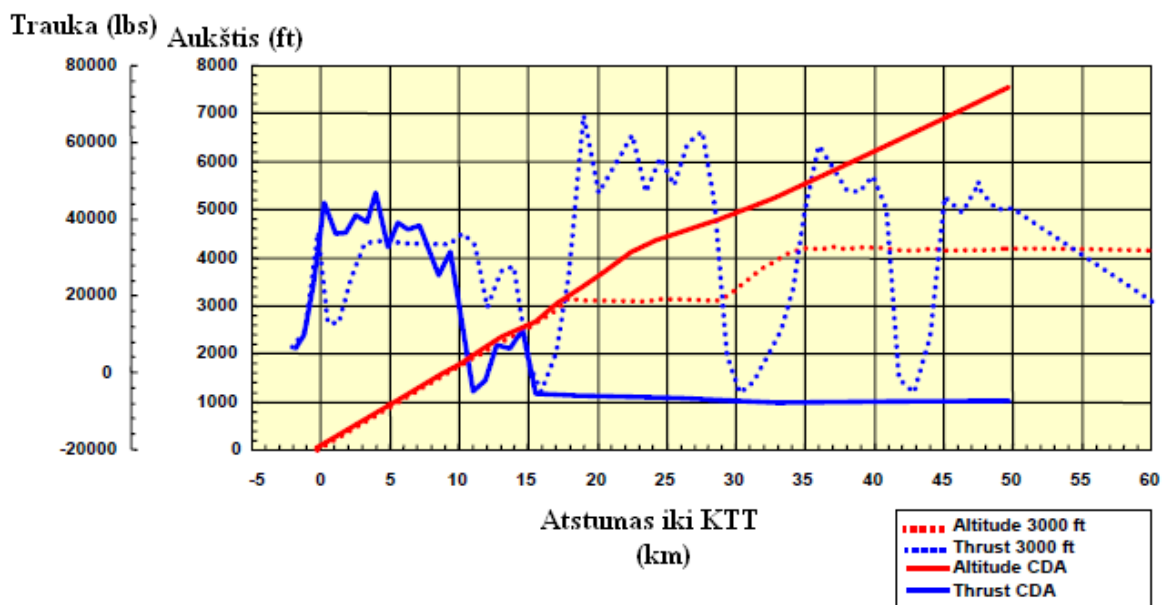
Įprastinio artėjimo metu naudojant vektoriavimo procedūrą horizontalus segmentas yra išlaikomas 2000 ft aukštyje, nakties metu 3000 ft. Šios skrydžio fazės metu orlaivis yra didelės variklių traukos

konfiguracijoje, kas skatina triukšmo lygio kilimą ir taršą. Vienintelis privalumas šių procedūrų – jos gali būti naudojamos esant dideliems oro srautams.



15 pav. CDA

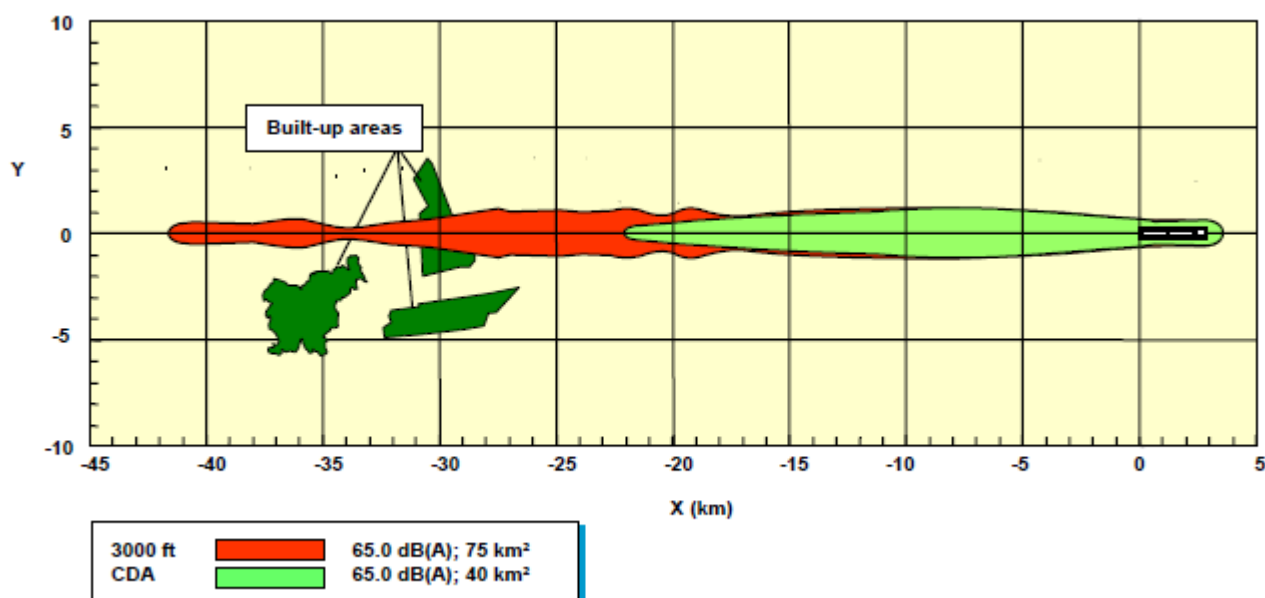
Tiriama CDA procedūra prasideda nuo pradinio artėjimo kontrolinio taško (IAF) 7000 ft aukštyje. Gavęs leidimą pilotas pradeda žemėjimą su minimalia variklių trauka taip, kad atsidurtų FAF tūpimui pagal prietaisų sistemą (ILS) 2500 ft aukštyje. Šios procedūros metu intervalas tarp orlaivių turi būti padidintas nuo 1,8 iki 4 minučių norint užtikrinti saugų atstumą paskutiniame artėjimo etape. Tai reikia dėl didelių orlaivių artėjimo greičių skirtumo.



16 pav. B747–400 Variklių traukos kitimas

16 paveiksle matome lėktuvo B747–400 variklių traukos priklausomybės nuo procedūros grafiką. Procedūros CDA su įėjimu į tūptinę 2500 ft aukštyje ir vektoriavimo su įėjimu į tūptinę 3000 ft aukštyje. CDA artėjimo metu žemėjimo profilis kinta pastoviai išvengiant horizontalių skrydžio segmentų. Tuo tarpu variklių trauka išlieka minimali iki įeinant į tūptinę. Tai yra dėl to, kad tūptinėje orlaivis yra tūpimo konfigūracijoje su išleistais artėjimo užsparniais, be to turi išlaikyti ILS žemėjimo trajektoriją. Įprastinio artėjimo metu orlaivis buvo vektoriuojamas, žemėjimas vykdomas su horizontaliais skrydžio segmentais, variklių trauka kinta nuolatos.

Triukšmo zonos skaičiavimui aukščio, atstumo iki tako sleksčio ir variklių traukos duomenys buvo paimti iš FMS. Triukšmo zona 20x50 km atvaizduota naudojant 3 km taką ir tiesų artėjimą. Pagal triukšmo aktus leistina riba iki 65 dB. 16 paveiksle pavaizduota triukšmo zona lėktuvo B747-400 naudojant CDA ir vektoriavimo su 3000 ft įėjimu į tūptinę. CDA triukšmo zonos plotas mažesnis.



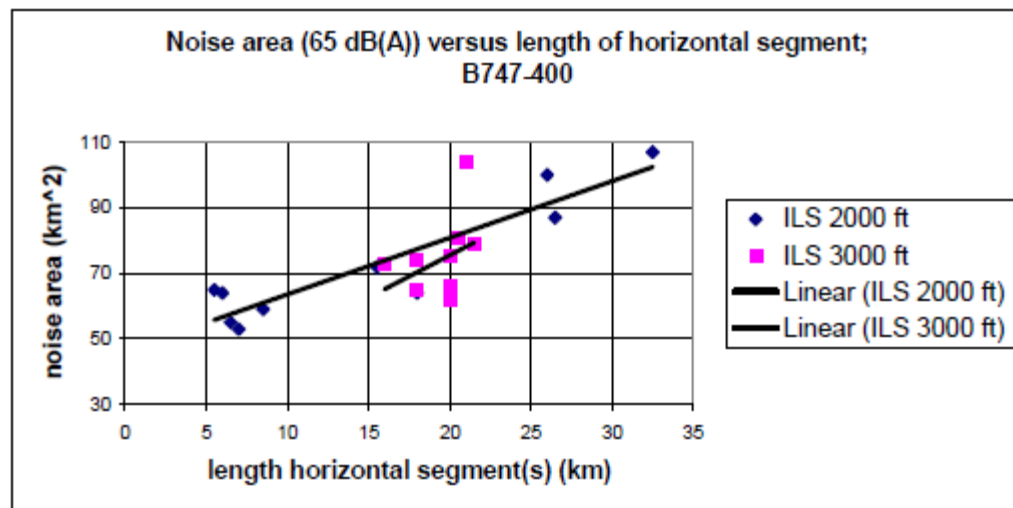
17 pav. B747-400 Triukšmo zonos

1 lentelė. Tyrimo rezultatai

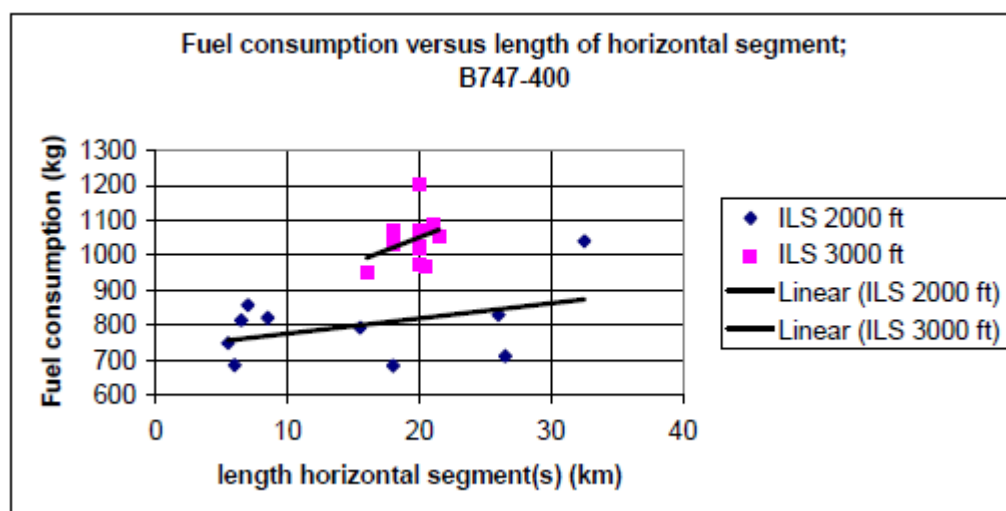
Aircraft/procedure		Fuel consumption [kg]	65 dB(A) footprint [km ²]	Length horizontal segment [km]
B747	2000 ft	799	72	15.2
	3000 ft	1045	74	19.5
	CDA	638	43	--
B737	2000 ft	213	38	18.5
	3000 ft	225	25	12
	CDA	170	17	--

Kuro sąnaudos buvo apskaičiuotos vadovaujantis paskutinių 45 km duomenimis. Atsižvelgus į kuro srauto ir greitį žemės atžvilgiu. Horizontalaus segmento ilgis lentelėje 1 yra visų horizontalių segmentų suma. Iš lentelės aiškiai matome mažesnę triukšmo zonos plotą ir kuro sąnaudas naudojant CDA.

18 ir 19 paveiklėliuose pateiktas triukšmo zonos plotą ir kuro sąnaudas, t.y., kaip funkcija priklausanti nuo horizontalaus segmentų ilgio. Atskirų skrydžių taškai parodo grįžimo tendenciją. Šie duomenys iš paskutinių 45 km parodo tiesiogią kuro sunaudojimo ir triukšmo ploto priklausomybę. Triukšmo zonos 3000 ft artėjimo metu yra mažesnės nei 2000 ft metu. Tai yra dėl aukštesnio ILS tūptinės įėjimo. Kuro sunaudojimas 3000 ft artėjimo metu yra didesnis negu 2000 ft metu. Tai yra dėl ilgesnio ILS tūptinės ilgio.

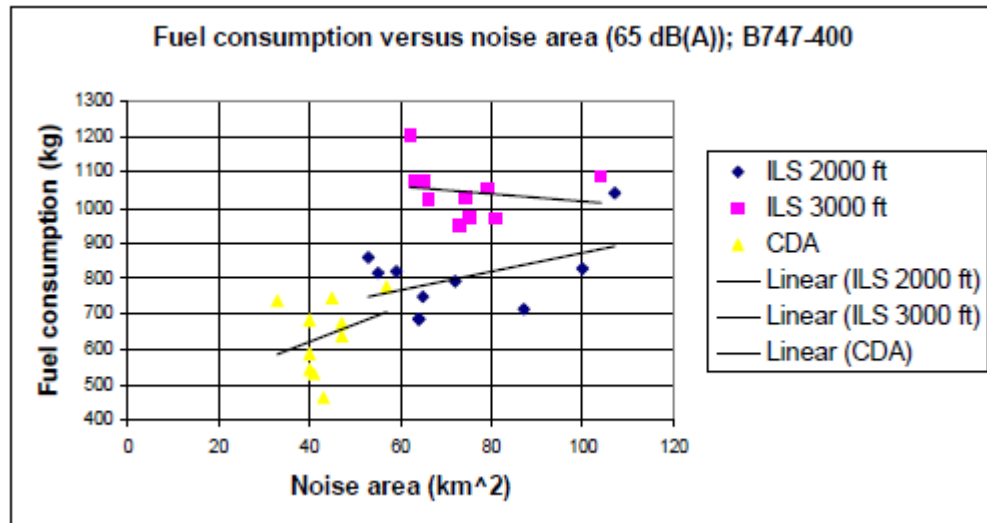


18 pav. Triukšmo priklausomybė nuo horizontalaus segmento



19 pav. Kuro sąnaudų priklausomybė nuo horizontalaus segmento

20 paveiksle atvaizduoją naudą aplinkai palyginant CDA su įprastinėmis artėjimo procedūromis. Iš esmės, kuro sąnaudos priklauso nuo triukšmo zonos ploto. Iš grafiko matome, kad CDA lėktuvų atskiri duomenys parodo mažiausią kuro sunaudojimą atitinkančią triukšmo zoną.



20 pav. Kuro sunaudojimo priklausomybė nuo triukšmo ploto

Apibendrinant galima teigti, kad CDA procedūros parodo didesnę naudą aplinkai lyginant su įprastinėmis artėjimo procedūromis. Horizontalaus segmento buvimas tiesiogiai turi įtakos kuro sąnaudoms, bei triukšmo zonos plotą. CDA metu 65 dB triukšmo zona yra 30 – 55 % mažesnė. Paskutinių 45 km kuro sąnaudos yra 25 – 40 % mažesnės kas atitinka 400 kg B747 ir 55 kg B737 sutaupyto kuro. Įprastinio artėjimo metu 3000 ft procedūra parodo didesnes kuro sąnaudas nei ta pati procedūra su įėjimu į tūptinę 2000 ft aukštyje. Triukšmo zona vykdant 3000 ft įėjimo į tūptinę procedūrą yra mažesnė nei 2000 ft. Šiuo atveju nepasaisant didesnių variklių traukos nustatymų, aukštis kompensuoja triukšmą.

4. OPTIMALIŲ ARTĖJIMO TŪPTI IR TŪPIMO PROCEDŪRŲ PRAKTINIS PANAUDOJIMAS NAKTIES METU LUIZVILIO ORO UOSTE

Pirmieji CDA bandymai Luisvilio tarptautiniame oro uoste buvo atlikti nakties metu 2002 metais. Tuo metu eksperimente dalyvavo UPS vežėjo B767–300 lėktuvai. Eksperimento tyrimai parodė triukšmo lygio sumažėjimą nuo 3,9 iki 6,5 dB, bei skryžio laiko sutrumpėjimą 100 sekundžių. Tačiau galutinė artėjimo tūpti schema buvo padaryta tik 2004 metais.

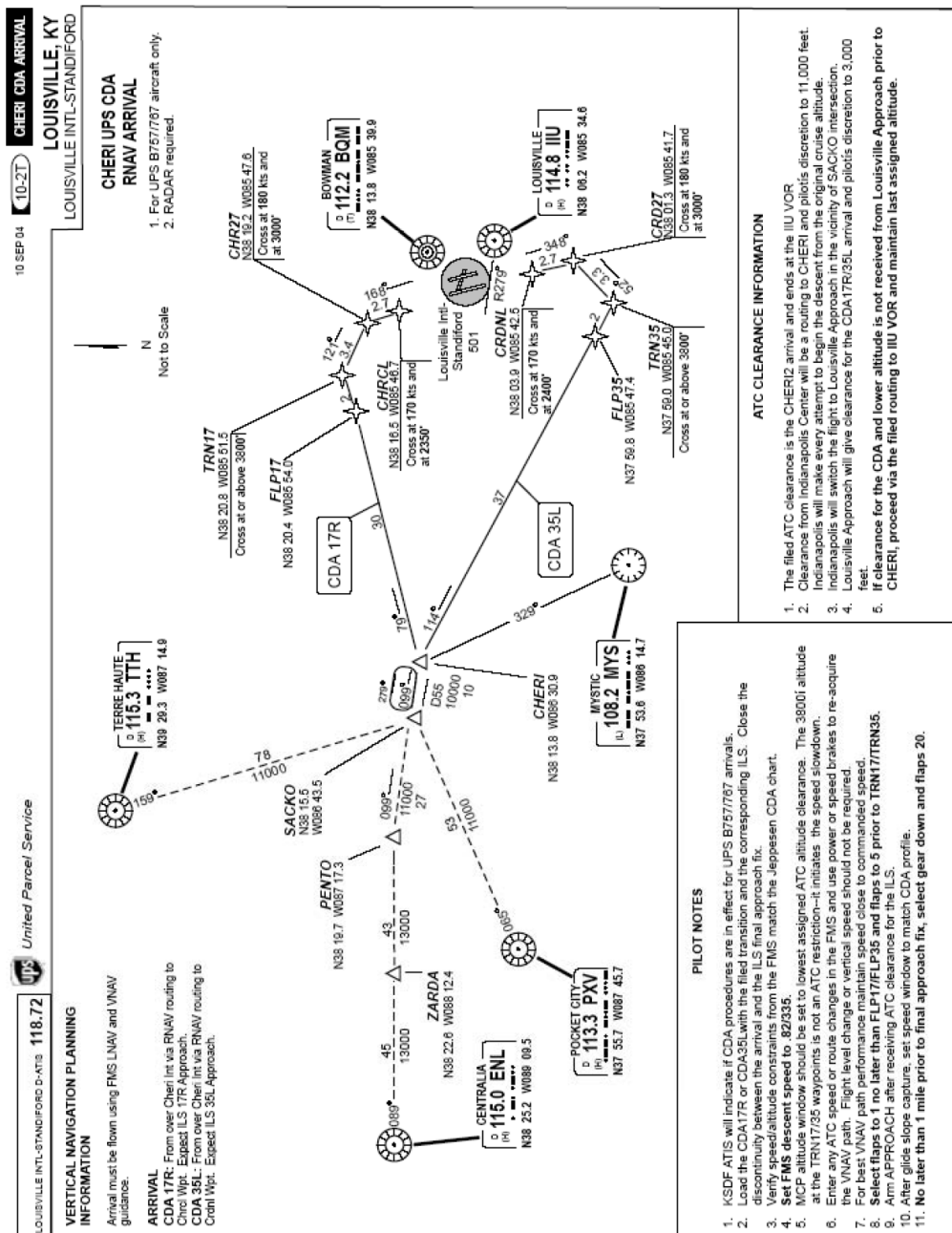
Tobulinant šią procedūrą atlikta virš 40 valandų skrydžių treniruokliais B757–200 ir B767–300 UPS mokymo centre. Šio bandymo duomenimis buvo vadovaujama kuriant aukščio ir greičio apribojimus taškuose tam, kad būtų sukurtos procedūros tinkančios abiejų tipų orlaiviams su skirtingomis masėmis bei vėjo sąlygomis. Abiejų tipų lėktuvų simulatoriai atliko procedūrą su minimaliu oro stabdžių panaudojimu esant skirtingiems vėjo parametrams. Pirmiausia procedūra buvo sukurta be jokių greičio apribojimų pastoviu trijų laispių žemėjimo kampu nuo taško 4000 ft aukštyje iki tako slenksčio. Naudojantis *NASA Langley* duomenimis norint sumažinti lėktuvo greitį nenaudojant stabdžių užsparniai turėjo būti išleisti 5 laipsnius iki įeinant į trijų laispių žemėjimo segmentą. Be to pirmasis greičio apribojimas buvo nustatytas tris mylios iki FAF. Simuliacijų metu buvo pastebėta, kad orlaivis turi būti žemiau tūptinės norint pagauti nuolydžio švyturį. Atsižvelgiant į tai aukštis FAF buvo sumažintas iki 3000 ft. Standartinė UPS ILS artėjimo procedūra pasirinkti artėjimo režimą FMS kompiuteryje gavus skrydžio vadovo leidimą. Kai kuriais atvejais šis leidimas yra gaunamas tik prie arba jau azimuto švyturio veikimo zonoje. Todėl daugeliu atvejų dėl nedidelio atstumo ir palyginus didelio kampo tarp orlaivio ir tako išilginių ašių orlaivis nespėdavo pasukti ir praskrisdavo tako liniją. Pasak to buvo nuspręsta pasirinkti artėjimo režimą dar iki įeinant į azimuto švyturio veikimo zoną.

Keletas vėjo modelių atitinkančių vyraujančius vietovėje buvo panaudoti simuliacijos metu. Vyraujantys vėjai buvo naudojami kuriant CDA procedūras. Taip pat buvo naudojami stiprų vėjų simuliacija norint užtikrinti saugių zonų išlaikymą ir procedūrų optimalumą. Tačiau simulatorių pajėgumas buvo ribotas išlaikant vėjus nuo pat kreiserinio skrydžio lygio iki 1500 ft virš žemės paviršiaus. Todėl tai lėmė aukščio ribojimų pakeitimą po atliktų realių bandomųjų skrydžių. Taip pat šie bandomieji skrydžiai parodė didesnę oro stabdžių naudojimą negu simuliacijų metu.

Be šių korekcijų į atvykimo schemą buvo įtrauktos pilotam skirtos pastabos. Jų tikslas buvo suteikti pilotam vienoje vietoje informaciją apie CDA procedūrą pagal kurią jie galėtų vadovautis. Be to šios procedūros buvo patobulintos ir skirtos naudoti FMS. Buvo aprašyti visi žingsniai skirti vykdyti CDA artėjimą bei skrydžio vadovų procedūras. Visa tai buvo pritaikyta B757–200 ir B767–300 lėktuvams. Procedūra buvo sukurta norint standartizuoti artėjimo greičius iki 10000 ft aukščio nuo jūros lygio, suteikti

informacijos apie FMS ir autopiloto programavimą, standartizuoti orlaivių konfigūracijos vietas ir suteikti skydžių vadovų galimas komandas bei terminologiją. Žemėjimo greičiai buvo iš anksto nustatyti norint išlaikyti saugius atstumus tarp orlaivių. FMS ir autopiloto procedūros buvo aprašytos norint standartizuoti horizontalią ir vertikalią navigaciją. Konfigūracijos procedūros buvo nustatytos norint išlaikyti nustatytus greičio ribojimus esant 3 laispmių žemėjimui bei išlaikyti stabilizuotą artėjimą tūpimui.

UPS kompanijos reikalavimas stabilizuoti skrydį iki 1000 ft virš žemės paviršiaus. Vadovaujantis konfigūracijos rekomendacijomis nustatytose kelio taškuose orlaivis išlaikys greitį reikiamose ribose.



21 pav. Atvykimo schema

4.1. Skrydžių rezultatai

Testavimo skrydžiai buvo pradėti 2004 metais ir tęsėsi nuo rugsėjo 14–25 dienos. Visų skrydžiai atvykimo laikas buvo tarp 5:30 UTC ir 6:30 UTC kiekvieną rytą.

Pradinis planas buvo surinkti 12 CDA skrydžių kiekvieną dieną tarp antradienio ir penktadienio ir 14 CDA skrydžių šeštadieni. Dėl lėktuvų pakeitimų teko planą neišėjo laikytis plano, tačiau galiausiai vistiek 126 skrydžių buvo surinkti. Iš 126 skrydžių, 125 atliko CDA procedūrą ir vienas orlaivis vizualų artėjimą dėl navigacinės duomenų sistemos gedimo. Visi skrydžiai 16 ir 24 dienomis ir vienas 23 buvo atlikti naudojant taką 17R, kiti likę skrydžiai 35L taku. Kiekvieno orlaivio tipo CDA atlikto procedūrų skaičius parodytas 2 lentelėje.

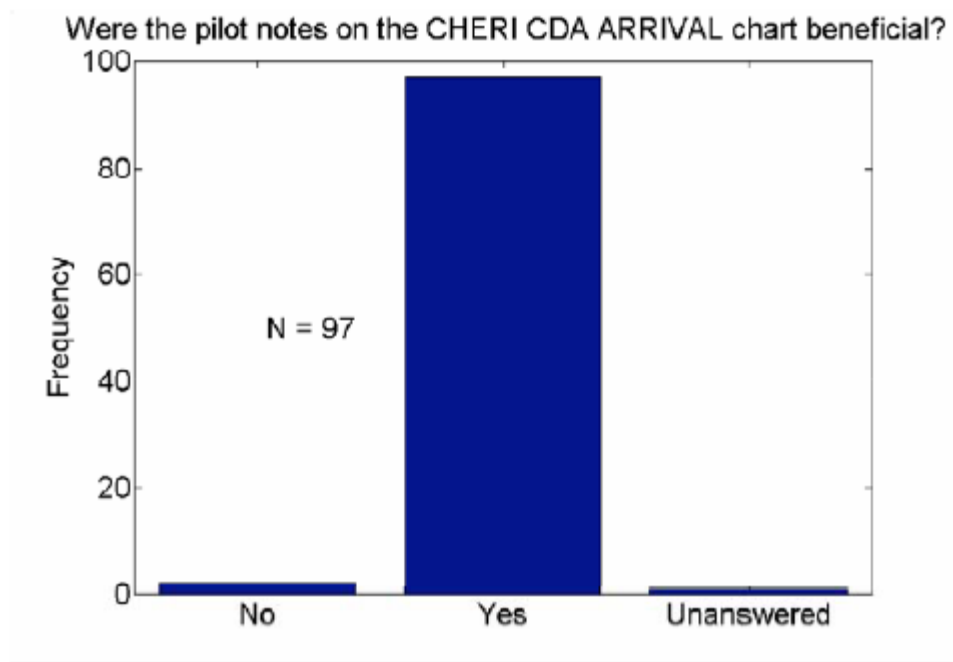
2 lentelė. CDA skrydžių suskirstymas

		Rugsėjis										Viso
		14	15	16	17	18	21	22	23	24	25	
Takas	Tipas											Viso
35L	B757-200	6	7		5	8	6	7	7		8	54
	B767-300	6	5		6	6	6	6	5		6	46
17R	B757-200			6						6		12
	B767-300			6					1	6		13
Iš viso		12	12	12	11	14	12	13	13	12	14	125

4.2. Pilotų apklausa

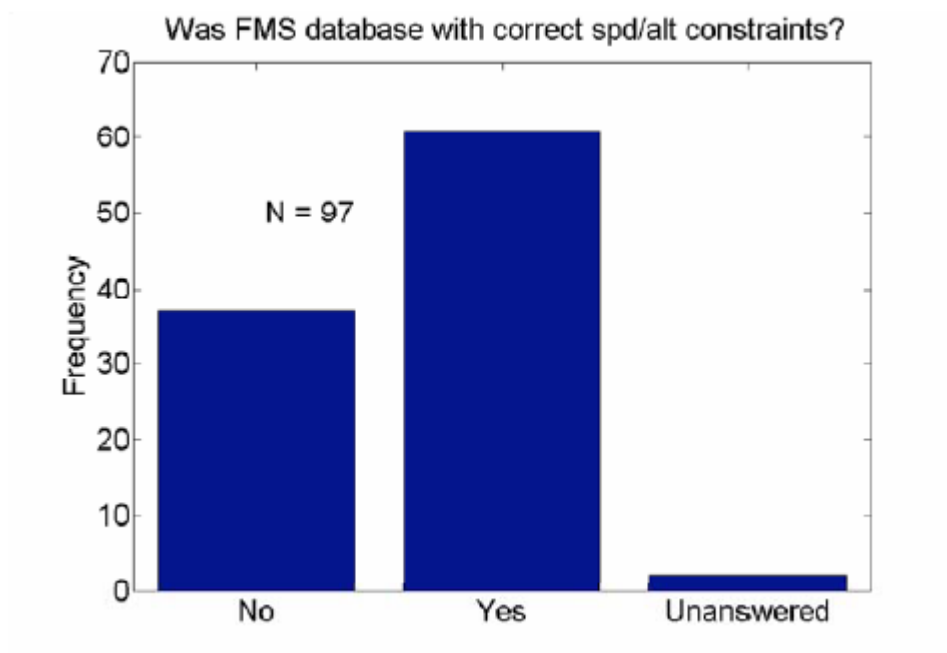
Po kiekvieno skrydžio pilotai turėjo atlikti apklausą. Apklausa susidarė iš klausimų susijusių su informacijos pateiktos schemoje tikslumu, suprantamumu, aukščio, greičio apribojimų tikslumu FMS, skrydžių vadovų komandos, panašumai, skirtumai tarp aprašyto ir atlikto skrydžio ir darbo krūvio. Be to pilotai galėjo pakomentuoti procedūrą. Siekiant sutaupyti laiko apklausą buvo nuspręsta daryti „Taip arba Ne“ tipo.

Pilotų atsiliepimai apie CDA schemą. Kaip matome iš 22 paveikslėlio daugelis pilotų teigė, kad schema naudinga. Tarp šios grupės pilotų du teigė, kad joje per daug informacijos. Vienas pilotas pasirinko „Ne“, nes trūko raidės „A“ taške TRN17 prie aukščio ribojimo 3800A.



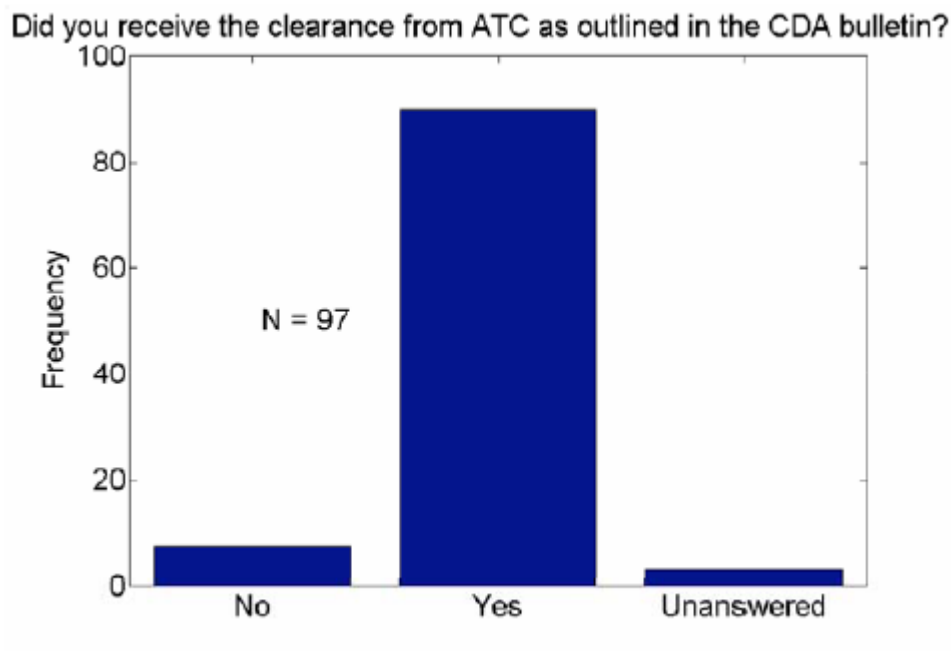
22 pav. Atvykimo schemos naudingumas

Apribojimai FMS duomenų bazėje. Du trečdaliai visų reisų orlaivių turėjo aukščio, greičio apribojimus įvestus į FMS duomenų bazę. Dėl aprašytos duomenų įrašymo problemos trečdalis reisų neturėjo šių apribojimų duomenų bazėje. Dešimt pilotų teigė, kad skrydžio metu rankiniu būdu šių apribojimų vesti netikslinga.



23 pav. Apribojimai FMS duomenų bazėje

Skrydžių vadovo komandos. Daugelis pilotų patvirtino, kad skrydžio komandos buvo kaip ir aprašytos. Iš dešimties pilotų atsakiusių teigiamai vienas pabrėžė, kad skrydžių vadovas liepė žemėti ankščiau ir lėčiau nei aptimalus profilies, kitas teigė, kad leidimas buvo duodas paskutinę sekundę. Iš grupės pilotų atsakiusių neigiamai penkti teigė nukrypimus nuo aprašytos procedūros, takų keitimus, aukščio apribojimus.



24 pav. Pilotų atsiliepimai apie skrydžio valdymo komandas

Procedūros ir tikrojo skrydžio palyginimas. Kaip matome iš 25 paveikslėlio dauguma pilotų teigė skridę pagal procedūrą kaip tikėjęsi. Iš grupės atsakiusių teigiamai šeši naudojo oro stabdžius tam, kad išlaikytų greitį ir žemėjimo kelią, du teigė, kad užsparnių išleidimo taškų vietos blogai parinktos kas lėmė suartėjimą ir nukreipimą į kitą taką. Iš grupės atsakiusių neigiamai penkiolika taigė, kad greičio mažinimas buvo neefektyvus dėl pavėjinės vėjo krypties arba skrydžio vadovo komandos ir oro stabdžius reikėjo naudoti. Vienas teigė, kad išlaikė greitį tačiau tūptinės švyturio nepagavo. Aštuoni pilotai pasirinko neatsakinėti į šitą klasimą.



25 pav. Procedūros palyginimas su tikru skrydžiu

Darbo krūvis. Dauguma pilotų teigė, kad darbo krūvis buvo tarp normalaus ir aukšto ir, kad procedūra yra gerai padaryta, ir lengva skristi. Penki pilotai teigė aukštą darbo krūvį sakė tai buvo dėl to, kad viso skrydžio metu jiems teko kontroliuoti vertikalų profilį ir naudoti oro stabdžius vietoj radijo ryšio ir kitų parametrų sekimo. Vienas teigė, kad aukštas darbo krūvis buvo dėl tako pakeitimo. Trys teigė, kad lydintis lėtas orlaivis arba vejantis greitas orlaivis didino darbo krūvį stengiantis išlaikyti saugų atstumą. Dešimt teigė, kad duomenų vedimas į FMS padidino darbo krūvį ir vienas pakomentavo, kad apmokymo trūkumas padarė šią procedūrą sunkią skristi.

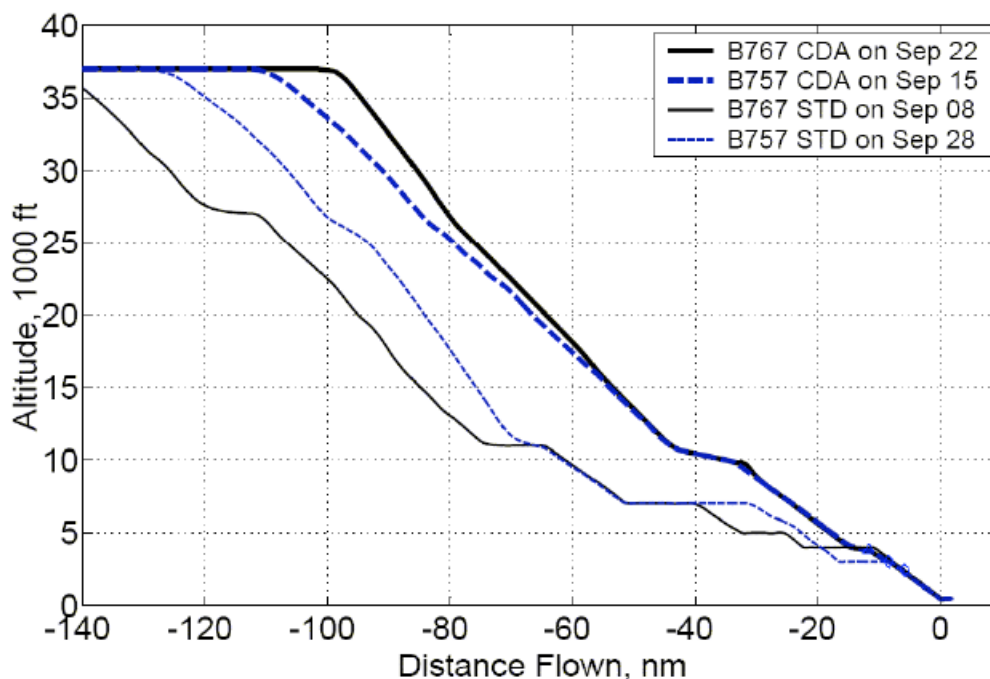


26 pav. Darbo krūvis

4.3. CDA ir įprastinio artėjimo trajektorijų palyginimas

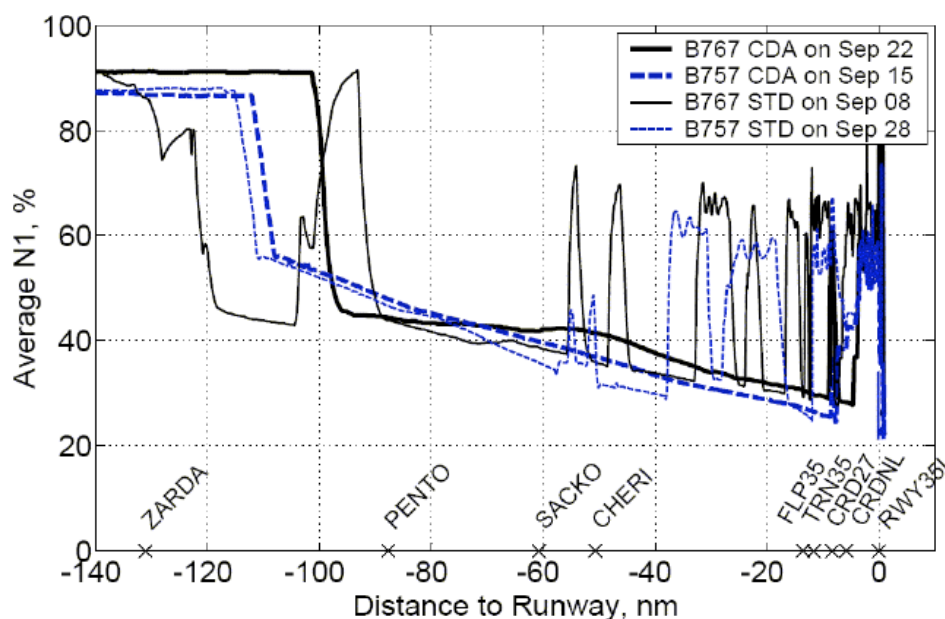
CDA taku 35L rugsėjo 15 dieną B757–200 ir CDA taku 35L rugsėjo 22 dieną buvo pasirinkti atvaizduoti geriausią CDA pavyzdį. Įprastiniai artėjimai atvaizduoti pasirenkant skrydžius taku 35L rugsėjo 28 dieną B757–200 ir taku 35L B767–300 rugsėjo 8 dieną. Šie du įprastiniai artėjimai pasirinkti dėl to, kad vektoriavimo procedūra buvo naudojama vidurinėje artėjimo dalyje. Jie atspindi tipinę įprastinio artėjimo procedūrą.

Vertikalių profilių skirtumai. Šių keturių skrydžių vertikalaus žemėjimo profiliai yra pateikti 27 paveikslėlyje. Žemiau greičio perėjimo aukščio (10000 ft) CDA B767–300 ir B757–200 žemėjimo profiliai praktiškai identiški. Tuo tarpu įprastinio artėjimo vertikalūs profiliai skiriasi. Kaip matome iš grafiko įprastinio artėjimo metu žemėjimas buvo pradėtas vykdyti ankščiau ir aukštis virš apgyvendintų vietovių šalia oro uosto buvo mažesnis. Iš paveikslėlio matome, kad įprastinio artėjimo metu kaikurie horizontalaus skrydžio segmentai siekė net iki 10 jūrmylių. CDA artėjimo metu orlaiviai atliko pastovaus žemėjimo techniką. 15–20 NM iki tako atstume CDA procedūrą vykdę orlaiviai turėjo iki 1500 ft didesnę aukštį. Čia viena iš priežasčių kodėl ši procedūra turi mažesnę triukšmo lygį. Kaip matome iš grafiko orlaiviai vykdė CDA procedūrą iki greičio perėjimo aukščio turėjo skirtingus žemėjimo profilius. Tai buvo dėl skirtingų orlaivių masių, vėjo sąlygų ir skirtingų orlaivių aerodinaminių charakteristikų.



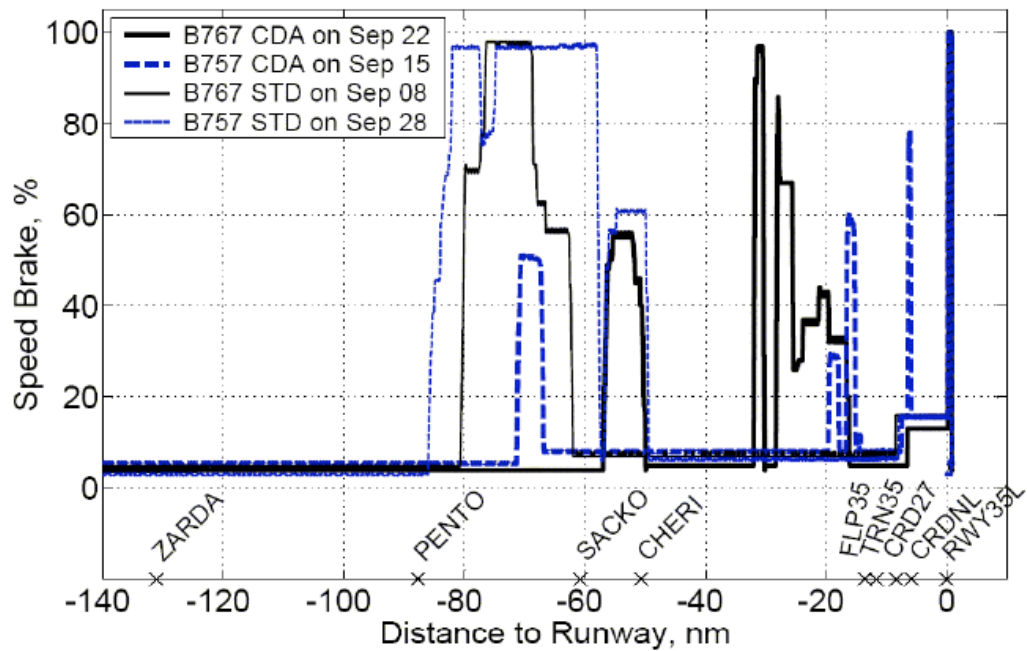
27 pav. Atstumo ir aukščio priklausomybė

Variklių sūkių skirtumai. CDA skrydžiai turėjo mažesnio triukšmo skleidimo šaltinį. Variklių turbinų sūkių vidurkiai paimti iš keturių skrydžių ir atvaizduoti kaip priklausomybės nuo atstumo iki tako grafikas. Iš 28 paveikslėlio matome, kad variklių sūkiai CDA procedūros metu praktiškai buvo laisvo akseleratoriaus padėtyje iki atsistojant tūptinėje pagal ILS. Atkreipus dėmesį į įprastines artėjimo procedūras matome, kad variklių sūkiai kito dėl horizontalių segmentų. Tas didina triukšmo lygius. Didesni variklių sūkiai reikalauja didesnio kuro kiekio.

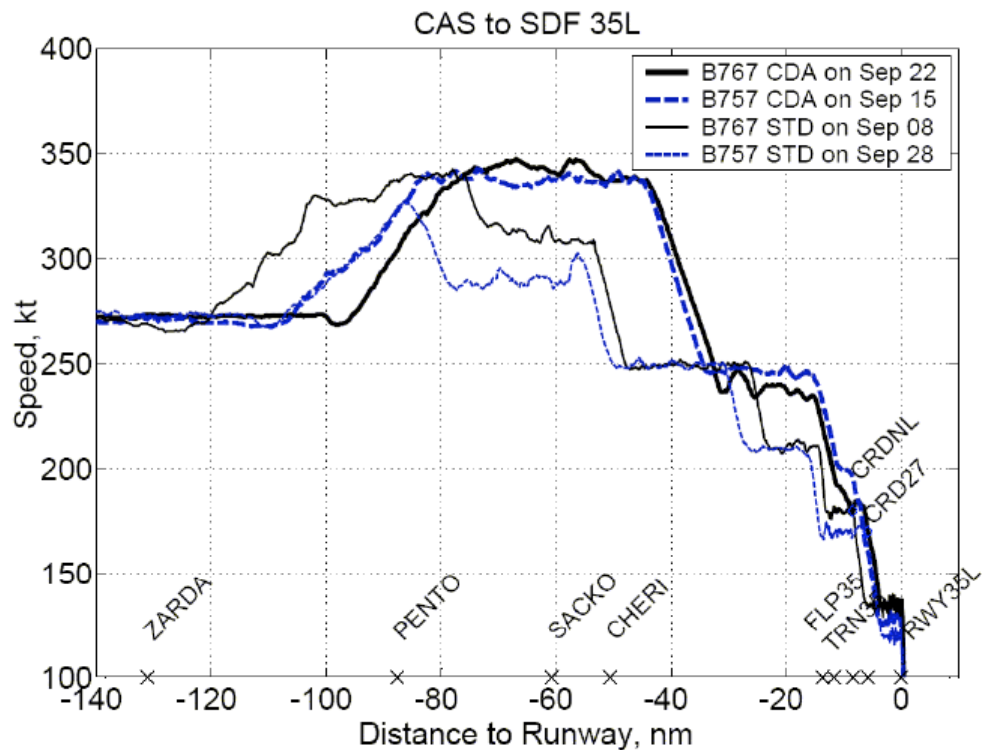


28 pav. Variklių turbinos sūkiai

Skirtumai tarp oro stabdžių panaudojimo ir greičių. Oro stabdžių panaudojimo priklausomybė nuo atstumo iki tako pavaizduota 29 paveikslėlyje. Oro stabdžiai buvo plačiai naudojami iki greičio perėjimo aukščio vykdant įprastinį artėjimą. Tai buvo būtina norint pristabdyti orlaivio artėjimą. Kaip matome iš 29 paveikslėlio įprastinio artėjimo metu greičiai buvo mažesni nei CDA. Oro stabdžiai nebuvo naudojami žemiau greičio perėjimo aukščio, nes tuo metu buvo atliekamas status žemėjimas todėl papildoma pasipriešinimo jėga nebuvo reikalinga. Abu CDA skrydžiai naudojo oro stabdžius tik trumpai iki greičio perėjimo aukščio. Kaip matome iš duomenų B767–300 atliekantis CDA naudojo intensyviau oro stabdžius nei B757–200. Tai gali būti dėl dviejų priežasčių. Pirmą, skrydžio įgula neįvedė prognozuojamo vėjo į FMS, palikdami FMS skaičiuoti VNAV žemėjimo kelią be vėjo sąlygomis, nors ištikro orlaivis žemėjo pavėjui. Antra, prognozuojamas vėjas įvestas į FMS buvo mažesnis nei tikrasis, tai reikalavo didesnio oro stabdžių panaudojimo norint išlaikyti žemėjimo kelią. Oro stabdžių naudojimas bet kuriame žemėjimo taške reiškia, kad žemėjimas galėjo būti pradėtas anksčiau su mažesniais kuro sąnaudomis.



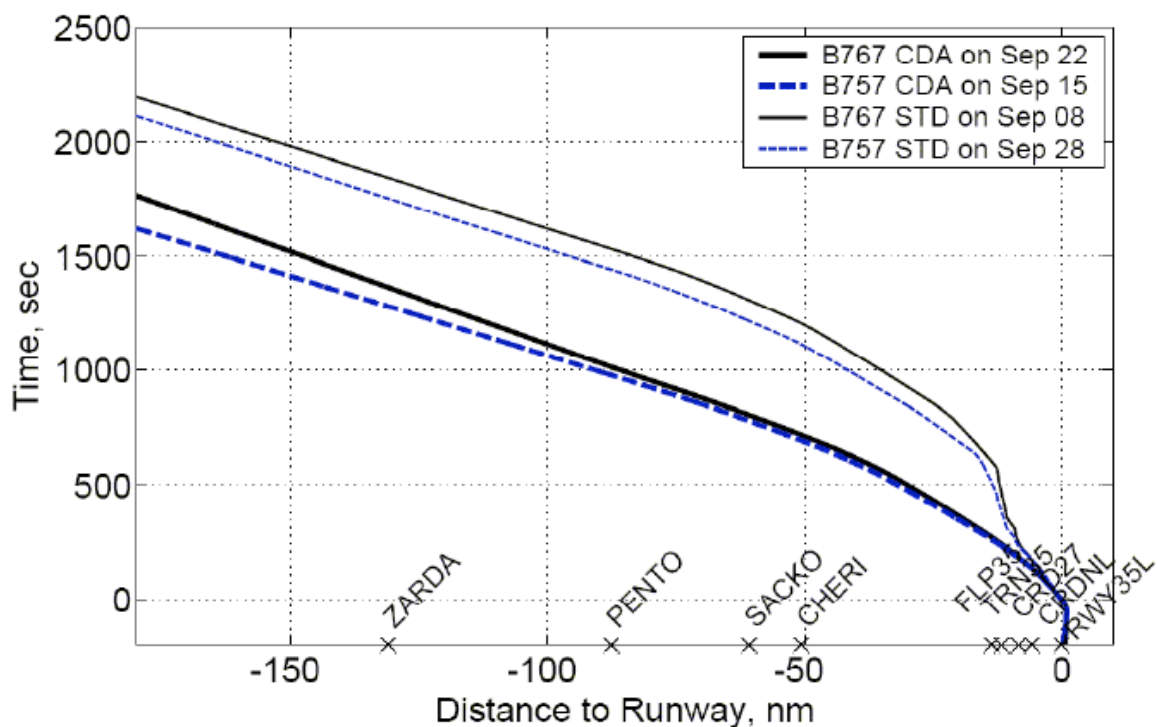
29 pav. Oro stabdžių naudojimas



30 pav. Kalibruotas oro greitis

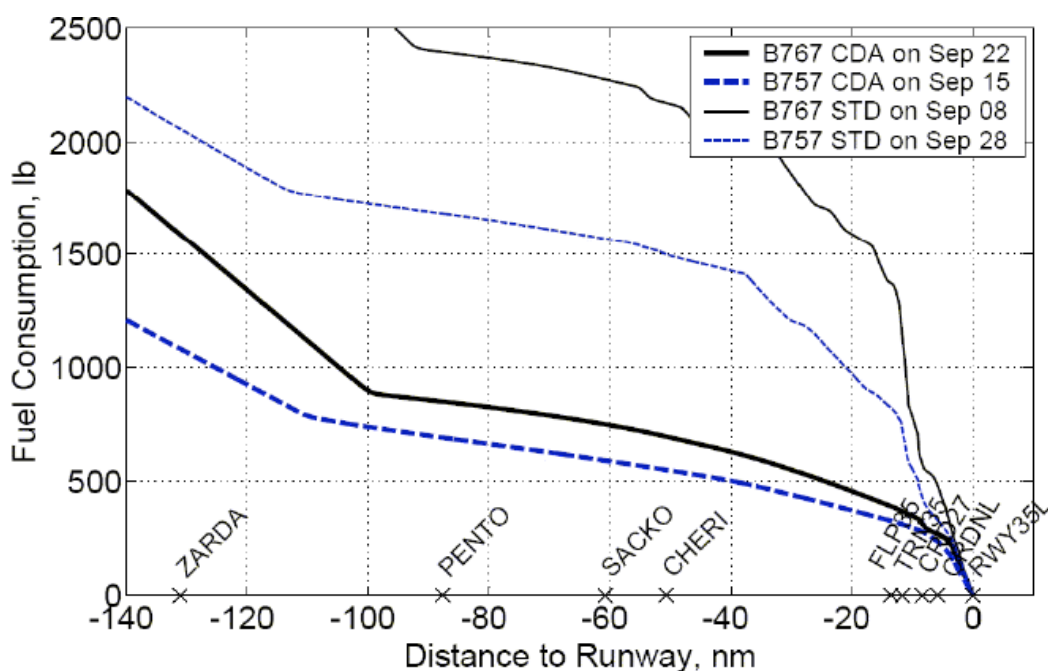
Skrydžio laiko skirtumas. Be triukšmo sumažinimo CDA procedūra taip pat sumažina skrydžio laiką ir kurą. 31 paveikslėlyje pavaizduota keturių nagrinėjamų skrydžių laiko trukmė. Bendroje įskaitoje

laiko sutaupoma 450 sekundžių, virš 7,5 minutės. Šis laiko sutaupymas yra dėl didesnio artėjimo greičio ir vektoriavimo procedūros išvengimo TMA zonoje. Kaip matome iš paveikslėlio daugiausia laiko sutaupoma TMA zonoje, kai orlaivis praskrenda CHERI tašką.



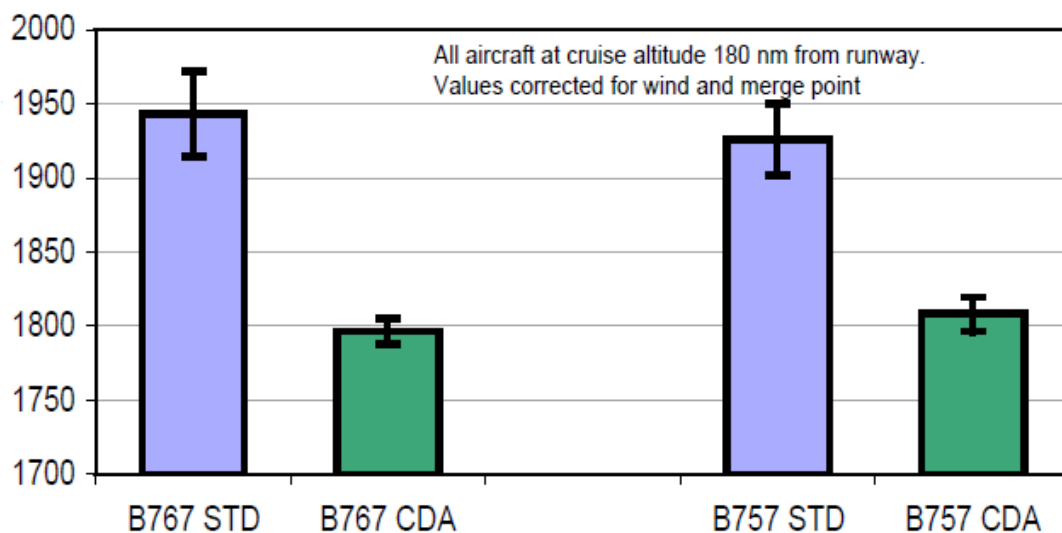
31 pav. Skrydžio laikas iki tako

Kuro sąnaudų skirtumas. 32 paveikslėlyje pateiktas kuro sąnaudų priklausomybės nuo atstumo iki tako grafikas. CDA procedūros su B757–200 lėktuvu metu kuro sunaudota apie 900 lb mažiau negu įprastinės procedūros metu. CDA procedūros su B767–300 lėktuvu metu apie 1,500 lb kuro buvo sutaupyta lyginant su įprastiniu artėjimu. Pagrindinė priežastis didesnių kuro sąnaudų yra dėl didesnės variklių traukos kuri yra reikalinga horizontalių skrydžio segmentų metu, bei dėl didesnio skrydžio laiko dėl vektoriavimo procedūros. Daugiausia kuro buvo sutaupyta TMA zonoje.



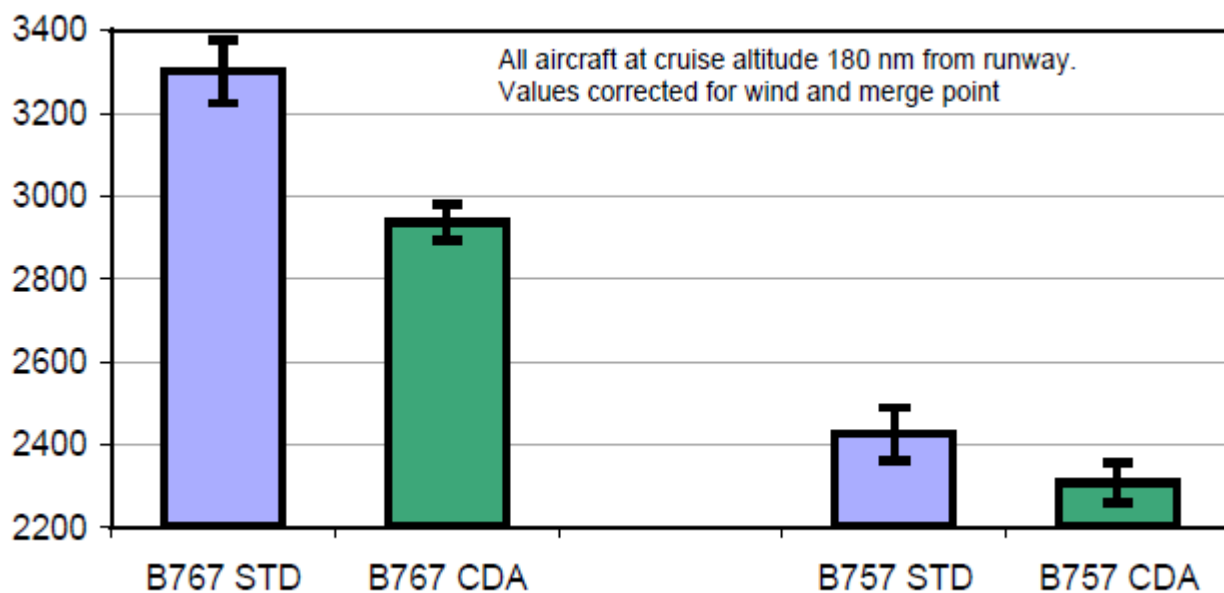
32 pav. Kuro sąnaudos

Skrydžio laiko analizė. Analizuojant skrydžio laiką buvo matuojamas laikas per kurį orlaiviai nuskrido paskutinius 180 NM iki oro uosto. Analizės metu paimti visų orlaivių tipų skrydžio laikai ir iš jų apskaičiuoti vidurkiai. Iš 33 paveikslėlio matome vidurkis B757–200 atliekančių CDA yra 1808 sekundžių, tuo metu B757–200 atliekančių įprastinę procedūrą yra 1926 sekundės. skrydžio laiko sutaupoma 118 sekundžių. Vidurkis B767–300 atliekančių CDA 1797 sekundžių, tuo metu B767–300 atliekančių įprastinę procedūrą 1944 sekundžių. Sutaupoma skrydžio laiko 147 sekundės. Didžioji dalis sutaupyto skrydžio laiko yra TMA zonoje.



33 pav. Skrydžio laikas paskutinių 180 NM iki tako 35L

Kuro sąnaudų analizė. 34 paveikslėlyje pateiktos kuro sąnaudų vidurkiai paskutinių 180 NM iki tako 35L. Vidutinis kuro sunaudojimas B757-200 orlaivių vykdyusių CDA buvo 2308 svarų, tuo metu B757-200 vykdyusių įprastinę procedūrą 2426 svarų, vidutiniškai 118 svarų kuro daugiau. B767–300 vykdyusių CDA vidutinės kuro sąnaudos 2937 svarų, tuo metu B767–300 įprastinės procedūros metu 3301 svarų, vidutiniškai 364 svarais daugiau. Didžioji dalis kuro sutaupytą TMA zonoje.



34 pav. Kuro sąnaudos paskutinių 180 NM iki tako 35L

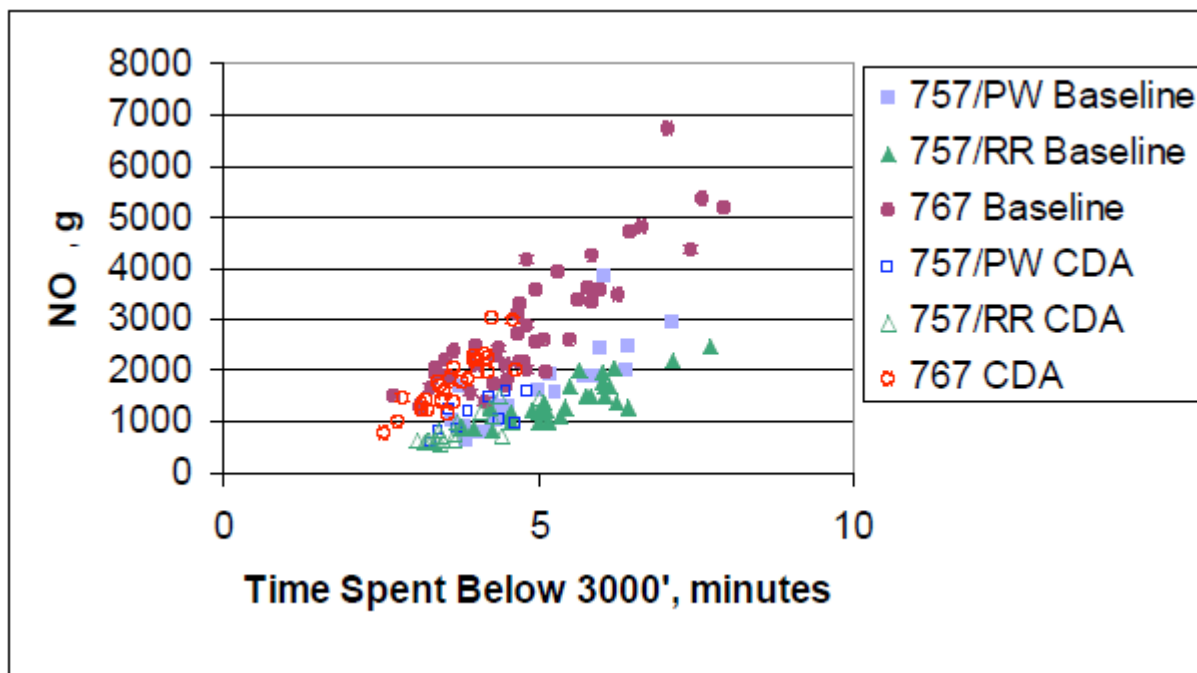
Išmetamų dujų analizė. Išmetamų dujų analizė buvo atlikta paribio sluoksnyje artėjimo ir tūpimo metu. Paribio sluoksnis tai zona tarp oro uosto ir 3000 ft aukščio. Ši zona yra labai svarbi kadangi oras joje nulemia vietinio oro kokybę ant žemės. Pagal ICAO taršos standartus paribio sluoksnis yra laikomas tarp 3000 ft aukščio ir žemės paviršiaus. Todėl tai labai svarbu išanalizuoti CDA ir įprastinių artėjimų įtakas vietinio oro kokybei.

Tam, kad būtų apskaičiuoti NO, CO ir HC dujų kiekių išmetimas į aplinką buvo panaudoti skrydžio duomenų saviraščio duomenys iš B757–200 ir B767–300 lėktuvų vykdyusių CDA ir įprastines procedūras. Norint apskaičiuoti išmetamų dujų kiekį pirmiausia reikėjo kuro srauto ir oro sąlygų duomenų, kurie buvo atnaujinami kas 1 sekundę skrydžio metu. Šie duomenys buvo aukštis, kalibruotasis oro greitis, statinė oro temperatūra ir kuro srautas kiekvienam varikliui kaip pavaizduota 3 lentelėje.

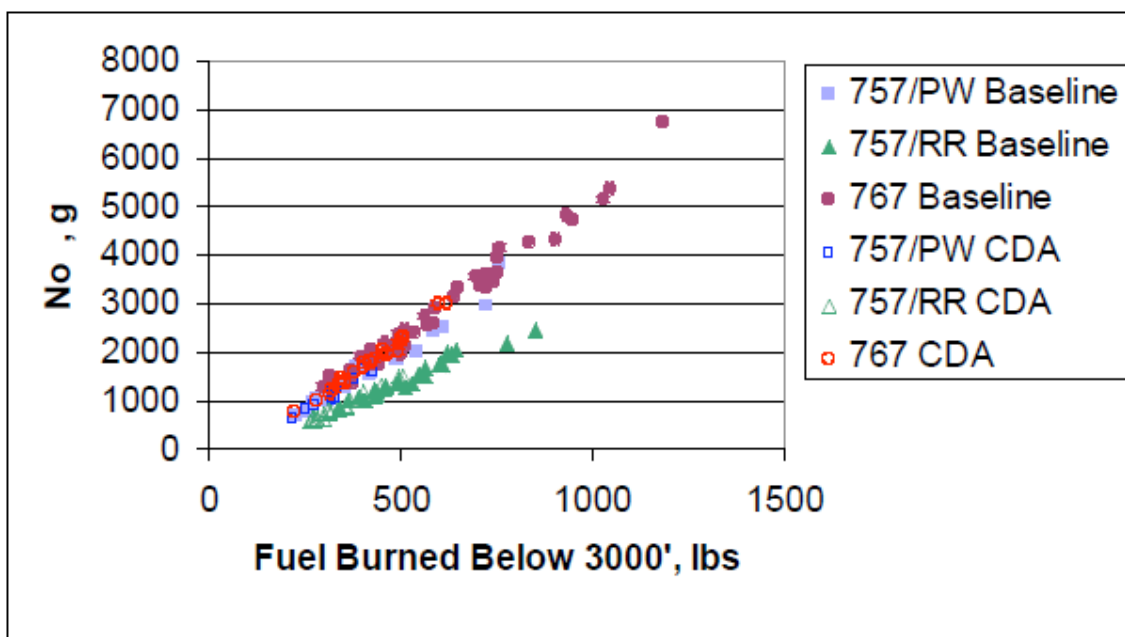
3 lentelė. Duomenys oro taršos skaičiavimui

time, sec	Press Alt, ft	Static Air Temp, deg C	CAS, kts	Eng 1 Fuel flow, lb/hr	Eng 2 Fuel Flow, lbs/hr
12562	3037	21.8	180	2879	2815
12563	3018	21.8	180.5	2687	2623
12564	2997	21.8	180.5	2496	2431
12565	2976	21.8	181	2336	2240
12566	2957	21.8	181	2144	2080
12567	2939	22	181	2016	1920
12568	2921	22	181	1888	1792
12569	2904	22	181.5	1792	1696
12570	2886	22	181.5	1664	1568

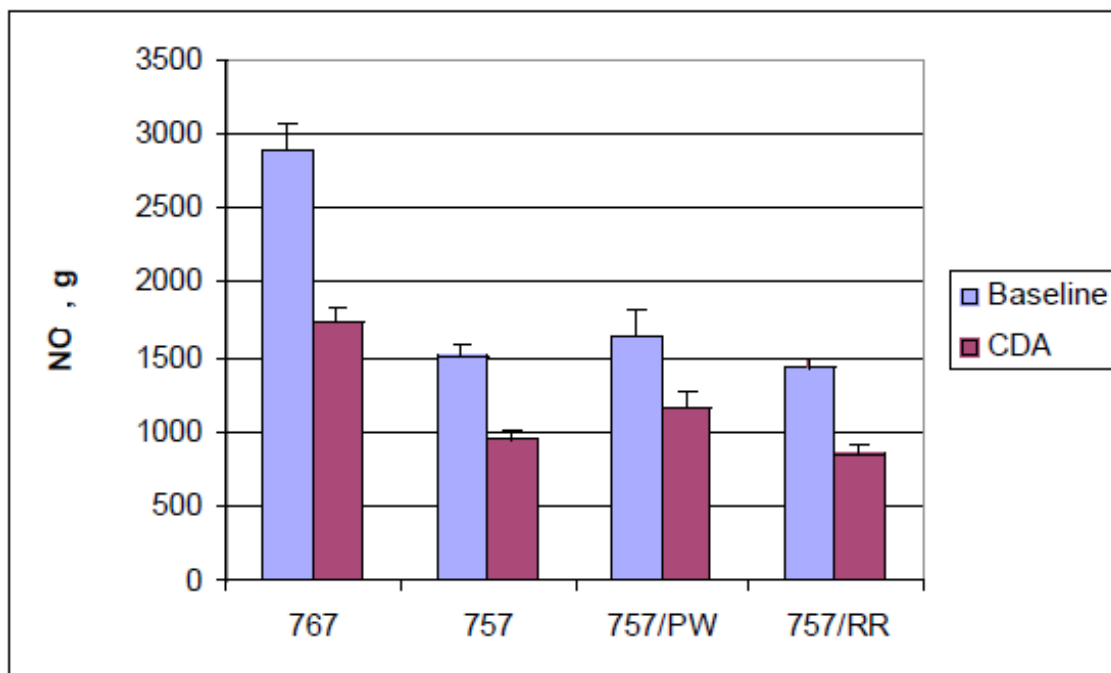
Abiejų variklių kuro srautas buvo suapvalintas pagal šiuos duomenis. Kadangi orlaivis neturėjo santykinės oro drėgmės matuoklio, 60 % santykinė oro drėgmė buvo panaudota. Duomenys buvo naudojami tik skrydžių tarp 3000 ft ir tako slenkščio aukščių. Išmetamų dujų kiekio skaičiavimai buvo atlikti vadovaujantis „Boeing Fuel Flow Method 2“.



35 pav. B757–200 ir B767–300 NO išmetimo priklausomybė nuo laiko



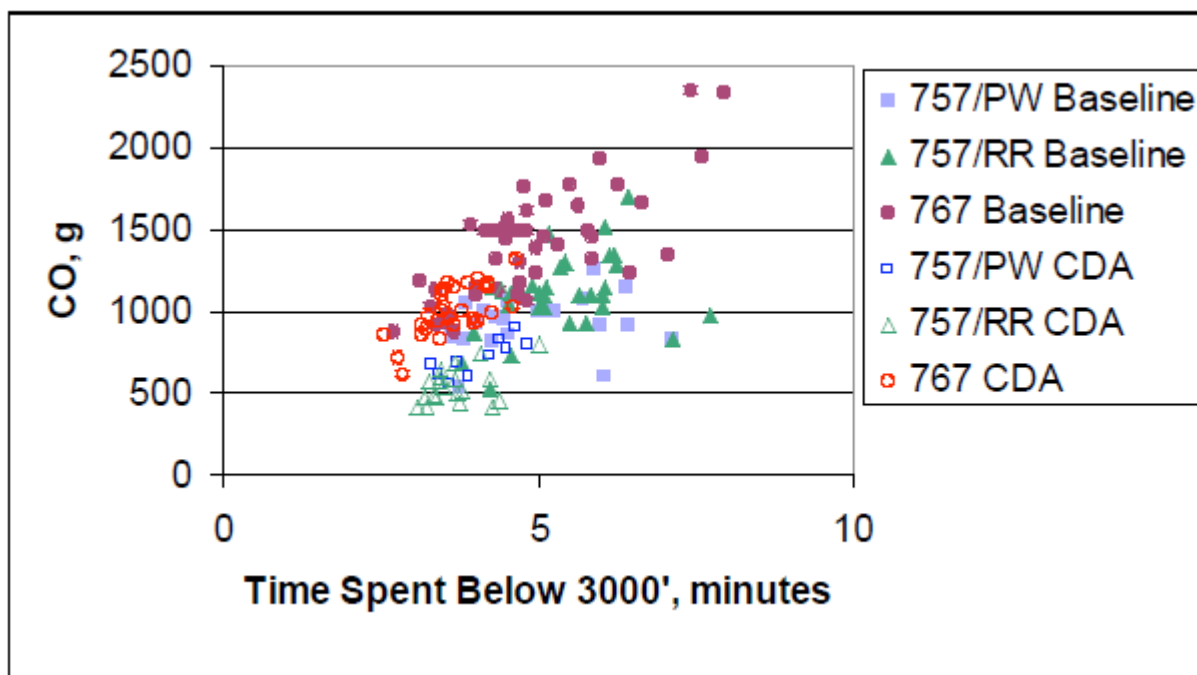
36 pav. B757–200 ir B767–300 NO išmetimo priklausomybė nuo sunaudoto kuro



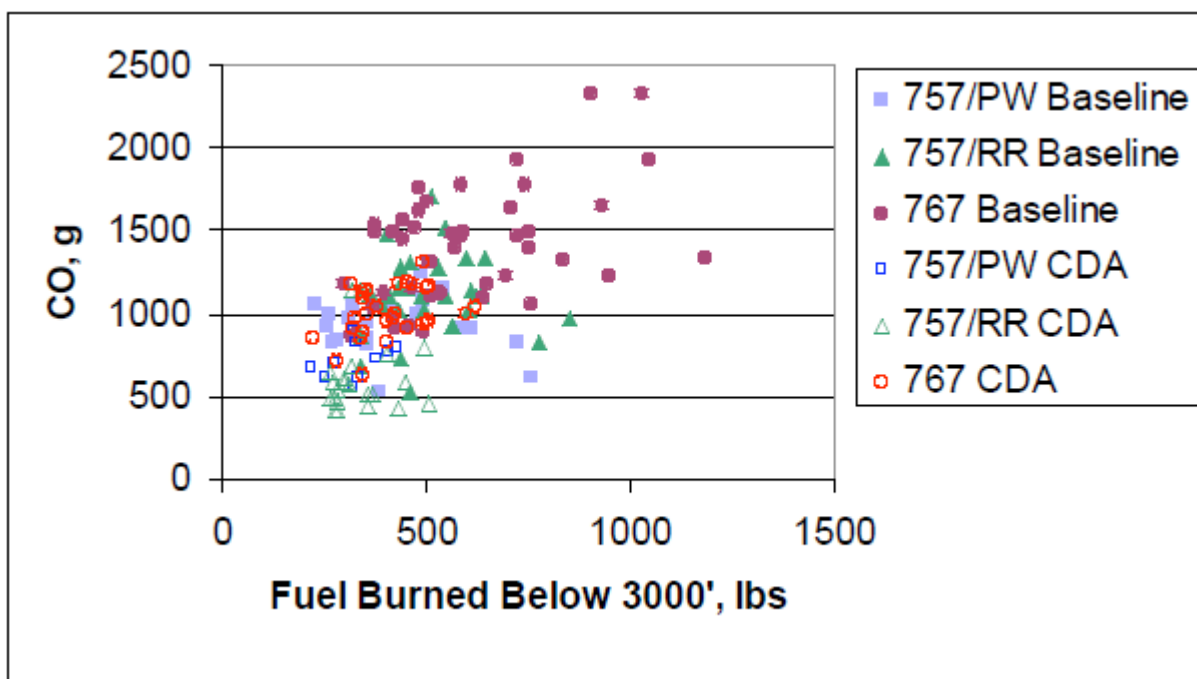
37 pav. Vidutinis B757–200 ir B767–300 NO išmetimas

B757–200 ir B767–300 lėktuvų išmatamų NO dujų kiekio priklausomybė nuo laiko ir sunaudoto kuro yra pavaizduota 35 ir 36 paveikslėliuose. B757–200 lėktuvų išmetamų dujų kiekiai yra išskaidyti pagal *Pratt and Whitney* (PW) ir *Rolls Royce* (RR) variklius. Iš 37 paveikslėlio matome, kad B757–200 išmetamų dujų

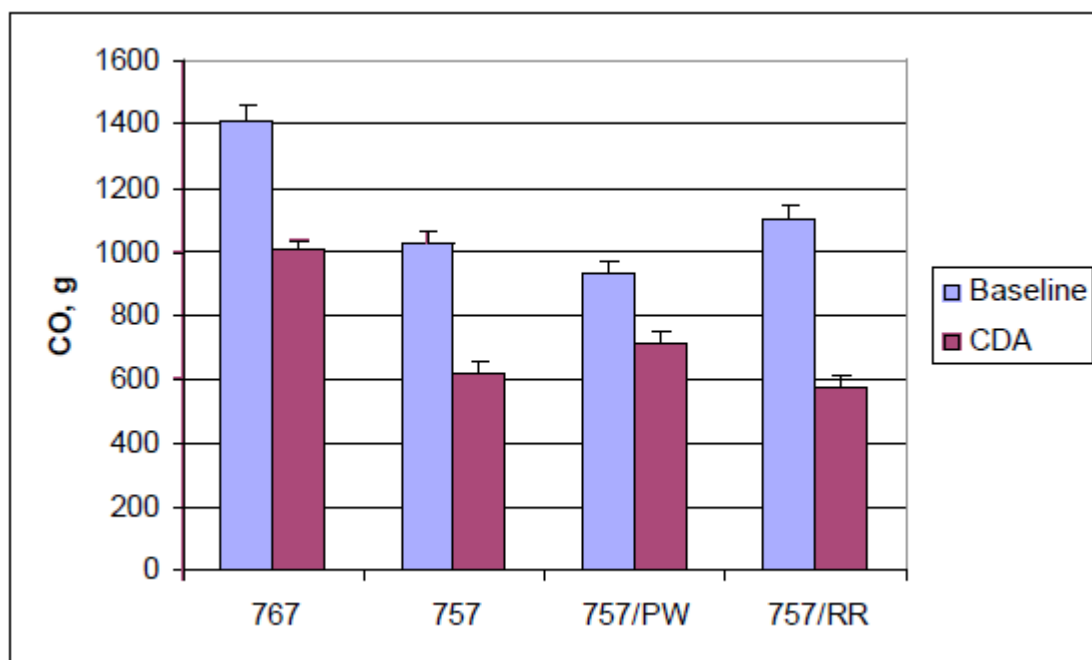
kiekis yra mažesnis 37,0 % nuo 1510 g to 951 g vykdant CDA. B767–300 NO išmetimas yra 39,9 % mažesnis nuo 2882 g iki 1732 g vykdant CDA.



38 pav. B757–200 ir B767–300 CO išmetimo priklausomybė nuo laiko

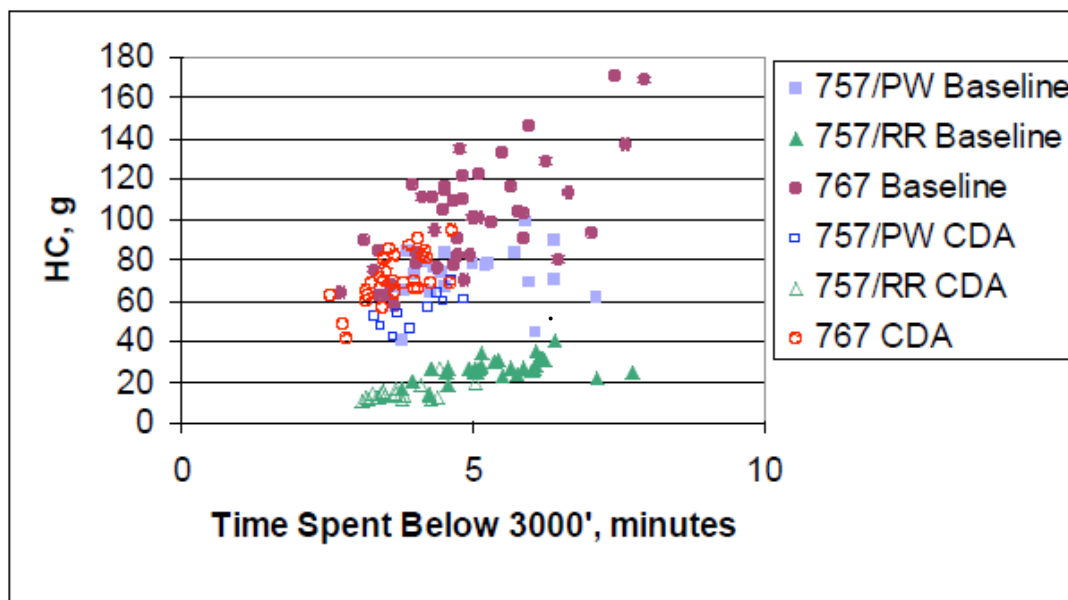


39 pav. B757–200 ir B767–300 CO išmetimo priklausomybė nuo sunaudoto kuro

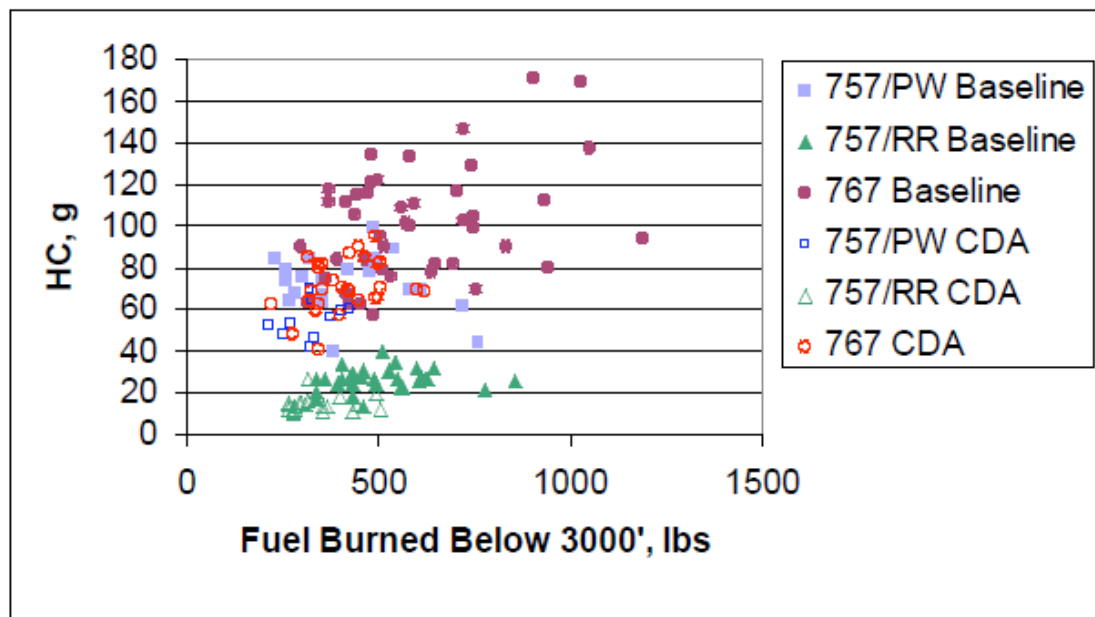


40 pav. Vidutinis B757–200 ir B767–300 CO išmetimas

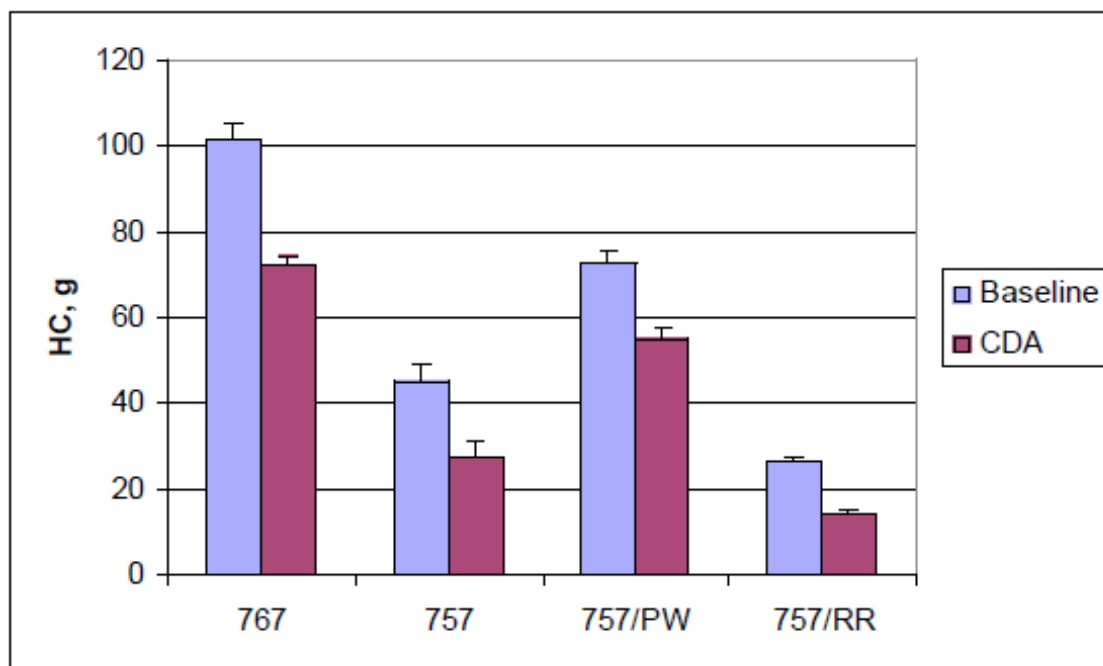
B757–200 ir B767–300 lėktuvų išmatamų CO dujų kiekio priklausomybė nuo laiko ir sunaudoto kuro yra pavaizduota 38 ir 39 paveikslėliuose. Iš paveikslėlio 40 matome, kad vidutinis CO išmetimas B757-200 yra mažesnis 39,9 % nuo 1030 g iki 620 g CDA procedūros metu. B767–300 yra mažesnis 28,5 % nuo 1408 g iki 1007 g CDA procedūros metu. Pagrindinė didesnės taršos priežastis įprastinio artėjimo metu ta, kad orlaivis ilgiau išbūna žemesniame aukštyje dėl vektoriavimo procedūros kas reikalauja didesnės variklių traukos bei daugiau kuro.



41 pav. B757–200 ir B767–300 HC išmetimo priklausomybė nuo laiko



42 pav. B757–200 ir B767–300 HC išmetimo priklausomybė nuo sunaudoto kuro

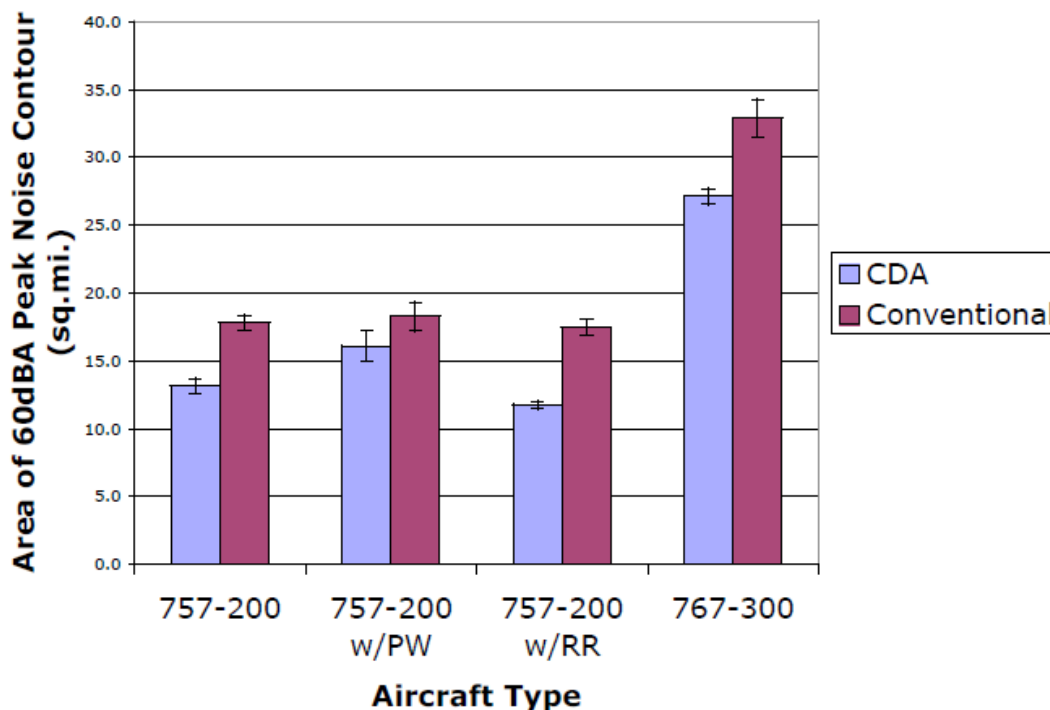


43 pav. Vidutinis B757–200 ir B767-300 HC išmetimas

B757–200 ir B767–300 lėktuvų išmatamų HC dujų kiekio priklausomybė nuo laiko ir sunaudoto kuro yra pavaizduota 41 ir 42 paveikslėliuose. Iš 43 paveikslėlio matome, kad vidutinis HC išmetimas B757–200 yra mažesnis 29 % nuo 45 g iki 27 g CDA procedūros metu. B767–300 yra mažesnis 39,2 % nuo 101 g iki 72

g CDA procedūros metu. Pagrindinė priežastis įprastinio artėjimo metu daugiau laiko yra praleidžiama žemesniame aukštyje, todėl daugiau kuro yra sunaudojama kas įtakoja daugiau kenksmingų dujų išmetimą į aplinką.

Triukšmo analizė. 44 paveikslėlyje parodyta CDA ir įprastinės procedūros 757–200 ir 767–300 60 dB triukšmo zona. B757–200 lėktuvas yra išskirstytas į du tipus pagal variklių gamintojus. Triukšmo zonos plotis pateiktas kvadratinėmis myliomis.



44 pav. 60 dB triukšmo zona CDA ir įprastinių artėjimų metu

CDA procedūrų metu B757–200 vidutinė 60 dB triukšmo zona palyginus su įprastinėmis procedūromis yra mažesnė 26 % nuo 17,8 iki 13,2 kvadratinų mylių. Skirtingų gamintojų variklių keliamas triukšmas skiriasi. B757–200 su *Pratt and Whitney* varikliais vidutinė triukšmo zona CDA procedūrų metu sumažėja nuo 18,3 iki 16,1 kvadratinų mylių tai būtų apie 12 %, tuo metu B757–200 su *Rolls-Royce* varikliais triukšmo zona sumažėja nuo 17,5 iki 11,8 kvadratinų mylių kas būtų apie 33 %. B767–300 60 dB triukšmo zona CDA procedūrų metu sumažėja nuo 32,9 iki 27,1 kvadratinės mylios kas būtų apie 17 %.

Apibendrinant galima teigti, kad CDA procedūros metu vidutinis laikas paskutinių 180 jūrmylių iki tako 35L sumažėja 118 sekundžių B757-200 ir 147 sekundės B767-300 orlaiviams. Kuro sąnaudos

paskutinių 180 jūrmųjų metu į taką 35L 118 svarai B757–200 ir 364 svarai B767–300. Triukšmo analizė parodė, kad CDA metu B757–200 ir B767–300 orlaivių išmetamų dujų kiekiai sumažėja atitinkamai:

1. NO išmatamų dujų kiekis 37,0 % ir 39,9 %.
2. CO dujų kiekis 39,9 % ir 28,5 %.
3. HC dujų kiekis 29,0 % ir 39,2 %.

B757-200 su *Pratt and Whitney* 60 dB triukšmo zona sumažėja 12 %. B757–200 su *Rolls-Royce* varikliais 60 dB triukšmo zona sumažėja 33 %. B767–300 60 dB triukšmo zona sumažėja 17 %.

5. OPTIMALIŲ ARTĖJIMO TŪPTI IR TŪPIMO PROCEDŪRŲ PANAUDOJIMAS VILNIAUS ORO UOSTE

Optimalaus artėjimo procedūra Vilniaus oro uoste naudojama nuo 2010 metų. Ši procedūra yra įtraukta į STAR schemas ir galioja tiek dienos, tiek nakties metu. Ji yra naudojama orlaivių atvykimui taku 20 ir 02. Vienas iš pagrindinių priežasčių kodėl CDA procedūra naudojama ir dienos metu, tai palyginti dėl nedidelių oro eismo srautų. Pagrindinis šių procedūrų panaudojimo tikslas sumažinti oro eismo daromą žalingą įtaką Vilniaus mieste ir aplink jį gyvenantiems žmonėms. Be to padaryti oro uostą patrauklesniu naujiems bei esamiems skrydžių operatoriams. Šios procedūros metu yra sumažinamas orlaivių keliamas triukšmas, tarša ir kuro sąnaudos artėjimo ir tūpimo metu. Tai yra svarbu atvykstantiems orlaiviams eksploatuojant taką 20. Šiuo artėjimo metu tūpiant taku 20 orlaivių horizontalus kelias eina virš miesto ribų. Kas sudaro didelę įtaką miesto oro kokybei. Toliau bus aprašytos prieš tai buvusios tako 20 artėjimo procedūros ir esamos bei apibendrinami jų skirtumai.



45 pav. KTT 20 tūptinė

5.1. Įprastinės artėjimo procedūros KTT 20

Atvykimo pagal STAR schema gali naudotis tik orlaiviai turintys RNAV navigacinę įrangą. Įprastinių artėjimo metu iki CDA procedūrų panaudojimo atvykimai buvo vykdomi naudojant aštuonis atvykimo kelius. Juos galima suskirstyti į tris pagrindines grupes nuo kurių yra vykdoma tūpimo pagal prietaisus procedūra. IKAMU 2B, NEDAM 2B, IRKAL 2B atvykimo keliai baigiasi KOTOV pradiniam artėjimo kontroliniame taške. MURUN 2B, TAGOL 2B, UTENU 2B baigiasi GEKBI IAF. LAVAR 2B, DUKAT 2B baigiasi RAMUB IAF. KOTOV ir GEKBI IAF orlaivių aukščiai turi būti 4000 ft. RAMUB IAF 3000 ft. Visų artėjimo metu greičiai ribojami žemiau 10000 ft nedidesniu nei IAS 250 kt, visuose IAF nedidesniu nei 230 kt. Artėjimo procedūros keliais:

IRKAL 2B atvykimo metu oralaivis nuo IRKAL navigacinio taško skrenda iki KOTOV IAF išlaikydamas 049 laispnių kursą. IRKAL taške aukštis ribojamas apatine riba nežemiau 110 skrydžio lygio (FL). Taške VI401 apatinė riba nežemiau 75 skrydžio lygio. Kirsti KOTOV 4000 ft nuo MSL aukščiu.

NEDAM 2B atvykimo metu oralaivis nuo NEDAM navigacinio taško skrenda iki KOTOV IAF išlaikydamas 101 laispnių kursą. NEDAM taške aukštis ribojamas apatine riba nežemiau 110 skrydžio lygio (FL). Kirsti KOTOV 4000 ft nuo MSL aukščiu.

IKAMU 2B atvykimo metu oralaivis nuo IKAMU navigacinio taško skrenda iki KOTOV IAF išlaikydamas 150 laispnių kursą. IKAMU taške aukštis ribojamas apatine riba nežemiau 110 skrydžio lygio (FL). Taške VI402 apatinė riba nežemiau 75 skrydžio lygio. Kirsti KOTOV 4000 ft nuo MSL aukščiu.

MURUN 2B atvykimo metu oralaivis nuo MURUN navigacinio taško skrenda iki GEKBI IAF išlaikydamas 151 laispnių kursą. MURUN taške aukštis ribojamas apatine riba nežemiau 110 skrydžio lygio (FL). Taške VI403 apatinė riba nežemiau 75 skrydžio lygio. Kirsti GEKBI 4000 ft nuo MSL aukščiu.

TAGOL 2B atvykimo metu oralaivis nuo TAGOL navigacinio taško skrenda iki GEKBI IAF išlaikydamas 163 laispnių kursą. TAGOL taške aukštis ribojamas apatine riba nežemiau 110 skrydžio lygio (FL). Taške VI404 apatinė riba nežemiau 75 skrydžio lygio. Kirsti GEKBI 4000 ft nuo MSL aukščiu.

UTENU 2B atvykimo metu oralaivis nuo UTENU navigacinio taško skrenda iki GEKBI IAF išlaikydamas 176 laispnių kursą. UTENU taške aukštis ribojamas apatine riba nežemiau 110 skrydžio lygio (FL). Taške VI405 apatinė riba nežemiau 75 skrydžio lygio. Kirsti GEKBI 4000 ft nuo MSL aukščiu.

Atvykimas LAVAR 2B ir DUKAT 2B nebus nagrinėjamas kadangi orlaivių žemėjimo pradžios taškai ir apribojimai yra už Lietuvos oro ervės ribų.

EYI AD 2.4-27
08 APR 2010

VILNIUS / INTL
LITHUANIA
STAR RWY 20

DUKAT 2B, IKAMU 2B,
IRKAL 2B, LAVAR 2B, MURUN 2B,
NEDAM 2B, TAGOL 2B, UTENU 2B

ATIS 125.800
APPROACH 120.700
TOWER 118.200

AERODROME ELEV 646
TRANSITION ALTITUDE 5000
THR RWY 20-ELEV 646

FOR NON-RNAV AIRCRAFT
UNABLE TO CONFORM THESE STARS:
PROCEED DIRECT TO IAF VNO TO
PERFORM INSTRUMENT APPROACH.
EXPECT FL ON ALTITUDE BY ATIS.

RNAV (GPS) RNP 100
STANDARD ARRIVAL CHART
INSTRUMENT (STAR) - ICAO

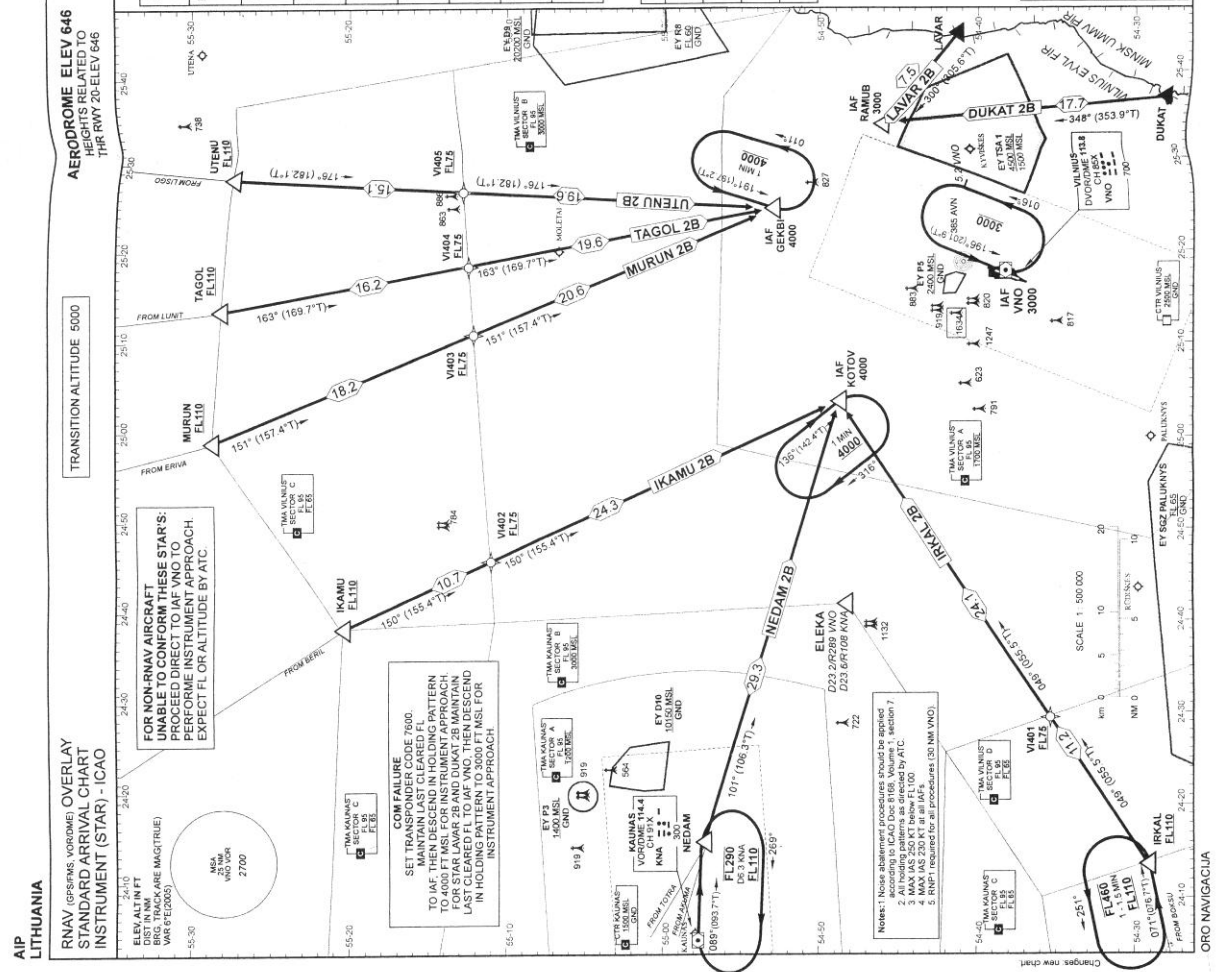
STAR NAME	ROUTE	SPEED	RESTRICTIONS
DUKAT 2B	DUKAT TWO BRAVO From DUKAT on track 348° proceed to IAF RAMUB	Max IAS 250 KT below FL 100. Passing IAF KOTOV max IAS 230 KT.	Cross RAMUB at 3000 FT MSL.
IKAMU 2B	IKAMU TWO BRAVO From IKAMU on track 150° proceed to IAF KOTOV.	Max IAS 250 KT below FL 100. Passing IAF KOTOV max IAS 230 KT.	Cross IKAMU at FL110 or above. Cross VNO DME 34.2 NM at FL75 or above. Cross KOTOV at 4000 FT MSL.
IRKAL 2B	IRKAL TWO BRAVO From IRKAL on track 045° proceed to IAF KOTOV.	Max IAS 250 KT below FL 100. Passing IAF KOTOV max IAS 230 KT.	Cross IRKAL at FL110 or above. Cross VNO DME 28.4 NM at FL75 or above. Cross KOTOV at 4000 FT MSL.
LAVAR 2B	LAVAR TWO BRAVO From LAVAR on track 300° proceed to IAF RAMUB	Max IAS 250 KT below FL 100. Passing IAF RAMUB max IAS 230 KT.	Cross RAMUB at 3000 FT MSL.
MURUN 2B	MURUN TWO BRAVO From MURUN on track 151° proceed to IAF GEKBI	Max IAS 250 KT below FL 100. Passing IAF GEKBI max IAS 230 KT.	Cross MURUN at FL110 or above. Cross VNO DME 34.1 NM at FL75 or above. Cross GEKBI at 4000 FT MSL.
NEDAM 2B	NEDAM TWO BRAVO From NEDAM on track 101° proceed to IAF KOTOV.	Max IAS 250 KT below FL 100. Passing IAF KOTOV max IAS 230 KT.	Cross KOTOV at 4000 FT MSL.
TAGOL 2B	TAGOL TWO BRAVO From TAGOL on track 165° proceed to IAF GEKBI	Max IAS 250 KT below FL 100. Passing IAF GEKBI max IAS 230 KT.	Cross TAGOL at FL110 or above. Cross VNO DME 34.2 NM at FL75 or above. Cross GEKBI at 4000 FT MSL.
UTENU 2B	UTENU TWO BRAVO From UTENU on track 176° proceed to IAF GEKBI	Max IAS 250 KT below FL 100. Passing IAF GEKBI max IAS 230 KT.	Cross UTENU at FL110 or above. Cross VNO DME 34.8 NM at FL75 or above. Cross GEKBI at 4000 FT MSL.

WAY POINT LIST

STAR NAME	ROUTE	STAR NAME	ROUTE
DUKAT 2B	DUKAT - IAF RAMUB (A3000 - K230)	MURUN 2B	MURUN (F110) - V403 (F075) - IAF GEKBI (A4000 - K230)
IKAMU 2B	IKAMU (F110) - V402 (F075) - IAF KOTOV (A4000 - K230)	NEDAM 2B	NEDAM - IAF KOTOV (A4000 - K230)
IRKAL 2B	IRKAL (F110) - V401 (F075) - IAF KOTOV (A4000 - K230)	TAGOL 2B	TAGOL (F110) - V404 (F075) - IAF GEKBI (A4000 - K230)
LAVAR 2B	LAVAR - IAF RAMUB (A3000 - K230)	UTENU 2B	UTENU (F110) - V405 (F075) - IAF GEKBI (A4000 - K230)

WAY POINT COORDINATES

V401	54 35 21.3N 024 29 03.5E	VNO R258 4D28.4	LAVAR	54 41 29.4N 025 44 12.4E	VNO R071 6D15.8
V402	55 10 56.0N 024 45 59.6E	VNO R324 9D37.6	MURUN	55 28 46.6N 024 58 40.1E	VNO R341 8D51.9
V403	55 12 00.8N 025 10 50.4E	VNO R347 3D34.1	NEDAM	54 57 10.4N 024 14 51.1E	VNO R291 9D04.0
V404	55 12 19.4N 025 18 21.8E	VNO R354 5D34.2	TAGOL	54 48 48.8N 025 33 43.2E	VNO R044 3D02.1
V405	55 12 37.0N 025 25 36.3E	VNO R125 7D15.0	UTENU	55 28 18.8N 025 13 17.4E	VNO R351 0D50.3
IRKAL	54 53 01.4N 025 24 46.6E	VNO R008 6D15.0	KNA	55 27 42.8N 025 26 36.0E	VNO R358 7D48.9
IKAMU	55 20 40.3N 024 38 12.5E	VNO R326 0D48.3	VNO	54 57 35.3N 024 03 55.1E	VNO R250 5D38.6
IRKAL	54 29 02.4N 024 13 11.9E	VNO R250 5D38.6	KOTOV	54 48 48.5N 025 03 25.3E	VNO R316 2D13.5



ORO NAV/GACUA

46 pav. Atvykimo schema

5.2. CDA atvykimas KTT 20

Optimalaus artėjimo procedūra Vilniaus oro uoste yra uždaros konstrukcijos tipo. Ji prasideda nuo STAR schemos pradžios ir tęsiasi iki FAF. STAR schema baigiasi IAF taške. Nuo šio taško toliau naudojamos atvykimo pagal prietaisus schemos. Atvykimą pagal šią schemą gali vykdyti orlaiviai turintys RNAV įrangą. TMA zonoje šios įrangos tikslumas reikalaujamas RNAV1. RNAV1 reiškia, kad 95 % skrydžio navigacinės įrangos paklaida negali leisti didesnių nukrypimų nuo kelio negu 1 NM.

Greičio ribojimai tokie patys kaip ir įprastinės artėjimo procedūros metu. Žemiau FL100 greitis iki 250 kt, IAF taškuose greitis ribojamas iki 230 kt. Pagrindiniai IAF taškai KOTOV ir GEKBI. Jų vietos koordinatės liko nepakeistos. Kelias žemės atžvilgiu jūrmylėmis nuo tako slenksčio iki KOTOV vykdant tūpimo pagal prietaisus procedūrą yra 21 NM. Kelias žemės atžvilgiu jūrmylėmis nuo tako iki GEKBI yra 15 NM. Aukščio ribojimai taške KOTOV nežemiau 5000 ft, taške GEKBI nežemiau 4000 ft. CDA atvykimo procedūros keliais:

IRKAL 2B atvykimo metu oralaivis nuo IRKAL navigacinio taško skrenda iki VI401 išlaikydamas 064 laispnių kursą, nuo VI401 iki KOTOV IAF 025 kursą. Bendras atstumas tarp taškų IRKAL ir KOTOV buvo padidintas 2 NM. IRKAL taške aukštis ribojamas apatine riba nežemiau FL110 ir viršutine FL460. Taške VI401 apatinė riba nežemiau 110 skrydžio lygio. Kirsti KOTOV ne žemiau 5000 ft nuo MSL aukščiau.

NEDAM 2B atvykimo metu oralaivis nuo NEDAM navigacinio taško iki KOTOV IAF išlaikydamas 100 laispnių kursą ir kirsdamas V406 tašką. NEDAM taške aukštis ribojamas apatine riba nežemiau 140 skrydžio lygio ir viršutine neaukščiau 290 skrydžio lygio. VI406 taške aukštis nežemiau FL100. Kirsti KOTOV nežemiau 5000 ft nuo MSL aukščiau.

IKAMU 2B atvykimo metu oralaivis nuo IKAMU navigacinio taško skrenda iki VI402 išlaikydamas 149 laispnių kursą. IKAMU taške aukščio ribojimų nėra. Taške VI402 apatinė riba nežemiau 110 skrydžio lygio. Kirsti KOTOV ne žemiau 5000 ft nuo MSL aukščiau.

MURUN 2B atvykimo metu oralaivis nuo MURUN navigacinio taško skrenda iki GEKBI IAF išlaikydamas 151 laispnių kursą. MURUN taške aukštis ribojamas apatine riba nežemiau 120 skrydžio lygio. Taške VI403 apatinė riba nežemiau 90 skrydžio lygio. Kirsti GEKBI nežemiau 4000 ft nuo MSL aukščiau.

TAGOL 2B atvykimo metu oralaivis nuo TAGOL navigacinio taško skrenda iki GEKBI IAF išlaikydamas 163 laispnių kursą. TAGOL taške aukštis ribojamas apatine riba nežemiau 110 skrydžio lygio. Taške VI404 apatinė riba nežemiau 90 skrydžio lygio. Kirsti GEKBI nežemiau 4000 ft nuo MSL aukščiau.

UTENU 2B atvykimo metu oralaivis nuo UTENU navigacinio taško skrenda iki GEKBI IAF išlaikydamas 175 laispnių kursą. UTENU taške aukštis ribojamas apatine riba nežemiau 110 skrydžio lygio. Taške VI405 apatinė riba nežemiau 90 skrydžio lygio. Kirsti GEKBI nežemiau 4000 ft nuo MSL aukščiau.

5.3. Procedūrų KTT 20 palyginimas

IRKAL 2B atvykimas. Atstumas žemės atžvilgių nuo tako slenksčio iki IAF KOTOV taško 21 NM. Nuo IAF KOTOV iki VI401 taško 14 NM. Nuo VI401 iki IRKAL taško 23,3 NM. Bendras atstumas nuo tako slenksčio iki IRKAL 58,3 NM. Įprastinių artėjimo metu taškas VI401 nuo IAF KOTOV 24,1 NM, nuo IRKAL 11,2 NM.

Aukščio koridoriaus skaičiavimas atsižvelgiant į ICAO rekomendacijas. Viršutinės ribos skaičiavimas prasideda nuo taško slenksčio ir tesiasi pastovia 350 ft/NM aukštėjimo sparta iki CDA procedūros vykdymo pradžios. Viršutinė riba skaičiuojama vadovaujantis formule:

$$(\text{Atstumas nuo tako slenksčio NM} \times 350 \text{ ft/NM}) + \text{Tako išaukštėjimas} = \text{Viršutinė riba}$$

Apatinė riba skirta užtikrinti saugų aukštį virš kliučių, saugų atstumą tarp kitų oro kelių, dėl skrydžio valdymo koordinavimo tikslų, bei siekiant atitikti oro uosto apribojimus. Žemutinė riba yra skaičiuojama nuo pradinio artėjimo kontrolinio taško (IAF) aukščio ir kyla 220 ft/NM sparta iki horizontalaus 5 NM segmento, skirto orlaivių greičio sumažinimui prieš įskrendant į TMA zona. Po horizontalaus segmento kyla toliau 220 ft/NM sparta. Skaičiuojama pagal formulę:

$$(\text{Atstumas nuo IAF} - 5 \text{ NM}) \times 220 \text{ ft/NM} + \text{IAF Aukštis} = \text{Apatinė riba}$$

Viršutinės ribos skaičiavimas išskirstomas į dalis:

1. Tako slenkstis–FAF (6 NM);

$$6 \times 350 + 646 = 2746 \text{ ft}$$

2. Tako slenkstis–IAF KOTOV (21 NM);

$$21 \times 350 + 646 = 7996 \text{ ft}$$

3. Tako slenkstis–VI401 (44,3 NM);

$$44,3 \times 350 + 646 = 16151 \text{ ft}$$

4. Tako slenkstis–IRKAL (58,3 NM).

$$58,3 \times 350 + 646 = 21051 \text{ ft}$$

Apatinę ribą išskirstome į dalis:

1. IAF KOTOV–horizontalus segmento pradžia (22,7 NM nuo IAF KOTOV);

$$22,7 \times 220 + 5000 = 10000 \text{ ft}$$

2. Horizontalaus segmento pabaiga (27,7 nuo IAF KOTOV)–IRKAL.

$$(37,3 - 5) \times 220 + 5000 = 12106 \text{ ft}$$

IRKAL taškas:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL210; apatinė FL121.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–viršutinė riba FL460; apatinė FL110.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–viršutinė riba FL460; apatinė FL110.

VI401 taškas:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL161; apatinė FL81.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–viršutinė riba FL460; apatinė FL110.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–viršutinė riba FL460; apatinė FL75.

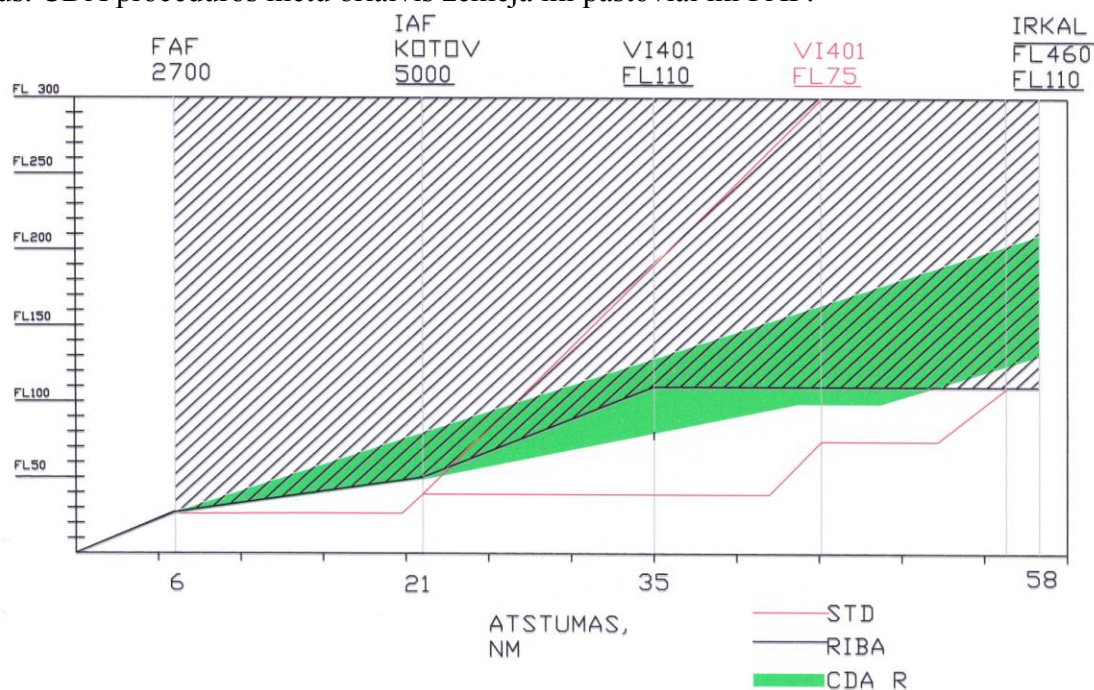
IAF KOTOV:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL460; apatinė FL50.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–viršutinė riba FL460; apatinė FL50.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–griežtai ribojama 4000 ft.

48 paveikslėlyje pateikta galimų vertikalių žemėjimo profilių ribos. Žalias koridorius parodo ICAO rekomendacijomis apskaičiuoto žemėjimo profilių koridoriaus ribas. Juoda briūkšniuota zona parodo šiuo metu naudojamų CDA artėjimų orlaivių leidžiamas skridimo zonas. Raudona linija atspindi prieš tai naudotų artėjimo tūpti procedūrų ribas. Jų metu orlaivis turėdavo kirsti IAF KOTOV tašką 4000 ft aukštyje. Tai reiškia, kad orlaivis turėdavo būti įvedamas į horizontalaus skrydžio segmentą dar gerokai iki šio taško. Nuo šio taško įprastinių artėjimo metu orlaivis turėdavo nužemėti iki 2700 ft ir skristi iki FAF tūpimui pagal prietaisus. CDA procedūros metu orlaivis žemėja iki pastoviai iki FAF.



48 pav. IRKAL 2B atvykimo žemėjimo profilių ribos

NEDAM 2B atvykimas. Atstumas žemės atžvilgių nuo tako slenksčio iki IAF KOTOV taško 21 NM. Nuo IAF KOTOV iki VI406 taško 13,6 NM. Nuo VI406 iki NEDAM taško 15,7 NM. Bendras atstumas nuo tako slenksčio iki NEDAM 50,3 NM.

Viršutinės ribos skaičiavimas išskirstomas į dalis:

1. Tako slenkstis–FAF (6 NM);

$$6 \times 350 + 646 = 2746 \text{ ft}$$

2. Tako slenkstis–IAF KOTOV (21 NM);

$$21 \times 350 + 646 = 7996 \text{ ft}$$

3. Tako slenkstis–VI406 (34,6 NM);

$$34,6 \times 350 + 646 = 12756 \text{ ft}$$

4. Tako slenkstis–IRKAL (50,3 NM).

$$50,3 \times 350 + 646 = 18251 \text{ ft}$$

Apatinę ribą išskirstome į dalis:

1. IAF KOTOV–horizontalus segmento pradžia (22,7 NM nuo IAF KOTOV);

$$22,7 \times 220 + 5000 = 10000 \text{ ft}$$

2. Horizontalaus segmento pabaiga (27,7 nuo IAF KOTOV)–NEDAM.

$$(37,3 - 5) \times 220 + 5000 = 11441 \text{ ft}$$

NEDAM taškas:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL182; apatinė FL114.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–viršutinė riba FL290; apatinė FL140.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–viršutinė riba FL290; apatinė FL110.

VI406 taškas:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL127; apatinė FL80.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–viršutinė riba FL290; apatinė FL100.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–taško nebuvo.

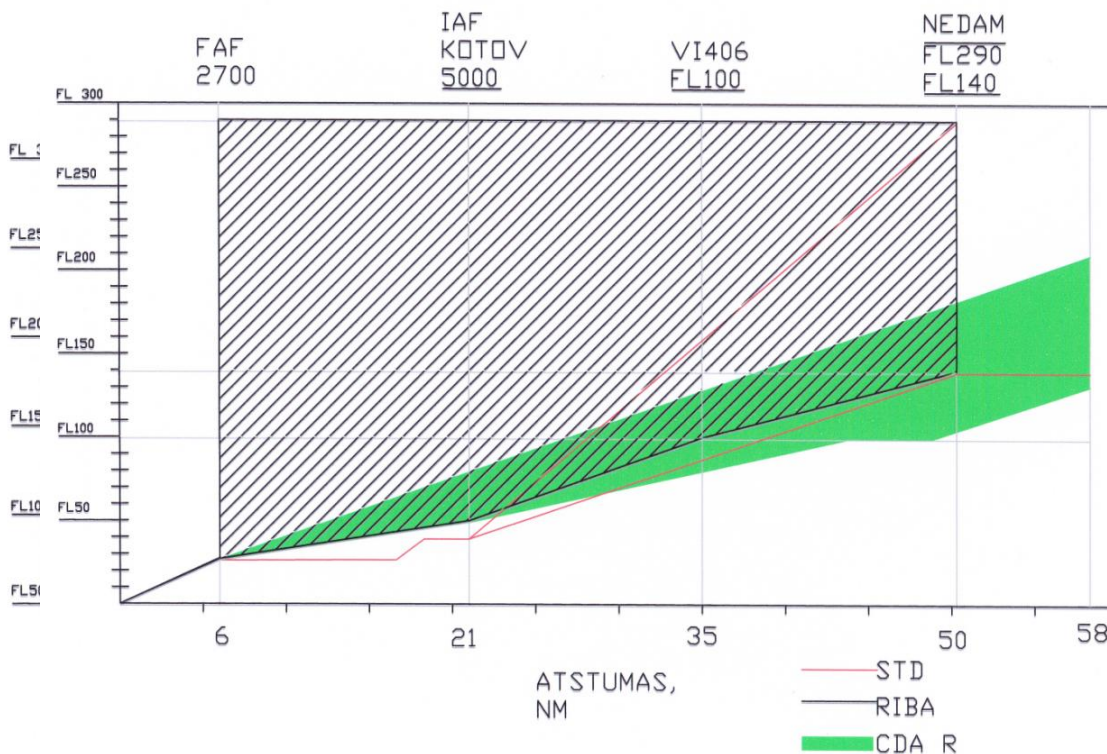
IAF KOTOV:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL80; apatinė FL50.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–viršutinė riba FL290; apatinė FL50.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–griežtai ribojama 4000 ft.

49 paveikslėlyje pateikta galimų vertikalių žemėjimo profilių ribos. Žalias koridorius parodo ICAO rekomendacijomis apskaičiuoto žemėjimo profilių koridoriaus ribas. Juoda briūkšniuota zona parodo šiuo metu naudojamų CDA artėjimų orlaivių leidžiamas skridimo zonas. Raudona linija atspindi prieš tai naudotų artėjimo tūpti procedūrų ribas. Jų metu orlaivis turėdavo kirsti IAF KOTOV tašką 4000 ft aukštyje. Tai reiškia, kad orlaivis turėdavo būti įvedamas į horizontalaus skrydžio segmentą dar gerokai iki šio taško. Nuo šio taško įprastinių artėjimo metu orlaivis turėdavo nužemėti iki 2700 ft ir skristi iki FAF tūpimui pagal prietaisus. CDA procedūros metu orlaivis žemėja iki pastoviai iki FAF.



49 pav. NEDAM 2B atvykimo profilių ribos

IKAMU 2B atvykimas. Atstumas žemės atžvilgiu nuo tako slenksčio iki IAF KOTOV taško 21 NM. Nuo IAF KOTOV iki VI402 taško 24,3 NM.

Viršutinės ribos skaičiavimas išskirstomas į dalis:

1. Tako slenkstis–FAF (6 NM);

$$6 \times 350 + 646 = 2746 \text{ ft}$$

2. Tako slenkstis–IAF KOTOV (21 NM);

$$21 \times 350 + 646 = 7996 \text{ ft}$$

3. Tako slenkstis–VI402 (45,3 NM).

$$45.3 \times 350 + 646 = 16501 \text{ ft}$$

Apatinė ribą:

1. VI402.

$$(24,3 - 5) \times 220 + 5000 = 9246 \text{ ft}$$

VI402 taškas:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL165; apatinė FL92.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–apatinė riba FL110.

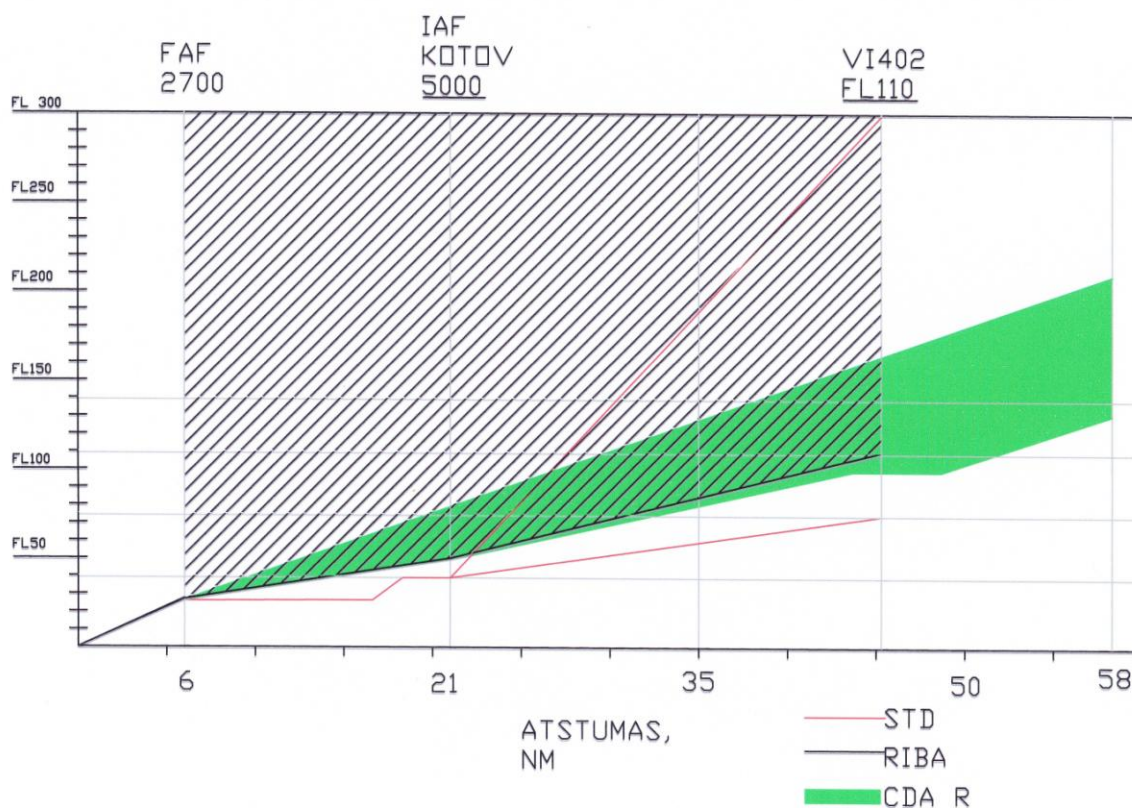
Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–apatinė riba FL75.

IAF KOTOV:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL80; apatinė FL50.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–apatinė FL50.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–griežtai ribojama 4000 ft.



50 pav. IKAMU 2B atvykimo profilių ribos

49 paveikslėlyje pateikta galimų vertikalų žemėjimo profilių ribos. Žalias koridorius parodo ICAO rekomendacijomis apskaičiuoto žemėjimo profilių koridoriaus ribas. Juoda briūkšniuota zona parodo šiuo metu naudojamų CDA artėjimų orlaivių leidžiamas skridimo zonas. Raudona linija atspindi prieš tai naudotų

artėjimo tūpti procedūrų ribas. Jų metu orlaivis turėdavo kirsti IAF KOTOV tašką 4000 ft aukštyje. Tai reiškia, kad orlaivis turėdavo būti įvedamas į horizontalaus skrydžio segmentą dar gerokai iki šio taško. Nuo šio taško įprastinių artėjimo metu orlaivis turėdavo nužemėti iki 2700 ft ir skristi iki FAF tūpimui pagal prietaisus. CDA procedūros metu orlaivis žemėja iki pastoviei iki FAF.

MURUN 2B atvykimas. Atstumas žemės atžvilgių nuo tako slenksčio iki IAF GEKBI taško 15 NM. Nuo IAF GEKBI iki VI403 taško 20,6 NM. Nuo VI403 iki MURUN taško 18,2 NM. Bendras atstumas nuo tako slenksčio iki MURUN 53,8 NM.

Viršutinės ribos skaičiavimas išskirstomas į dalis:

1. Tako slenkstis–FAF (6 NM);

$$6 \times 350 + 646 = 2746 \text{ ft}$$

2. Tako slenkstis–IAF GEKBI (15 NM);

$$15 \times 350 + 646 = 5896 \text{ ft}$$

3. Tako slenkstis–VI403 (35,6 NM);

$$35,6 \times 350 + 646 = 13100 \text{ ft}$$

4. Tako slenkstis–MURUN (53,8 NM).

$$53,8 \times 350 + 646 = 19500 \text{ ft}$$

Apatinę ribą išskirstome į dalis:

1. VI403;

$$20,6 \times 220 + 4000 = 8532 \text{ ft}$$

2. MURUN.

$$(38,8 - 5) \times 220 + 4000 = 11436 \text{ ft}$$

MURUN taškas:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL195; apatinė FL114.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–apatinė FL120.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–apatinė FL110.

VI403 taškas:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL131; apatinė FL85.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–apatinė FL90.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–apatinė FL75.

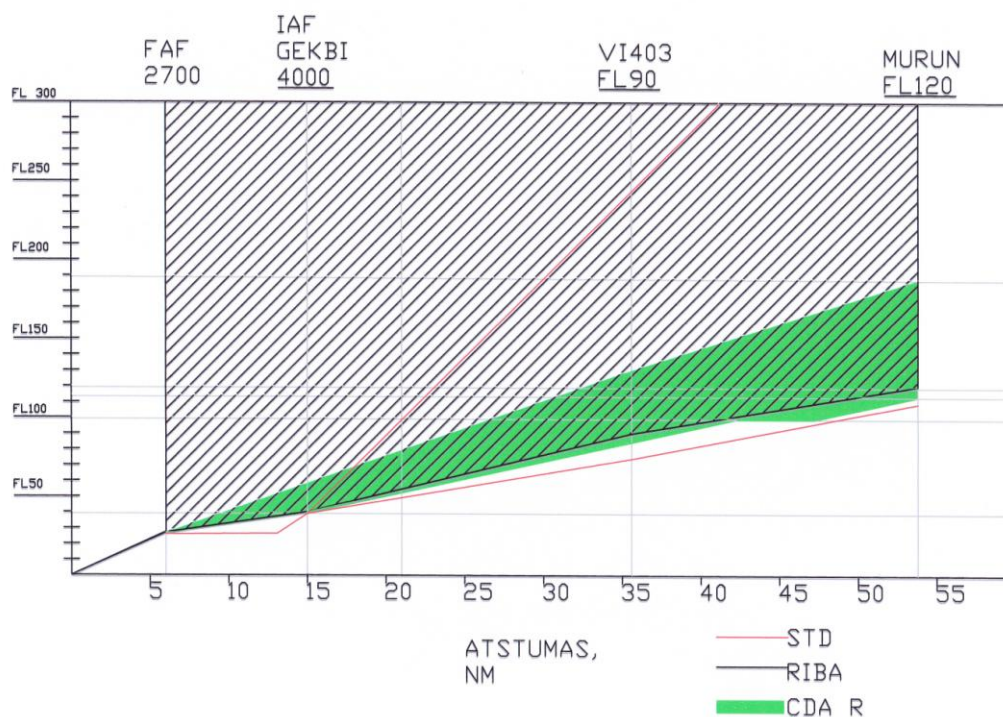
IAF GEKBI:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL59; apatinė FL40.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–apatinė FL40.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–griežtai ribojamas 4000 ft aukštis.

51 paveikslėlyje pateikta galimų vertikalių žemėjimo profilių ribos. Žalias koridorius parodo ICAO rekomendacijomis apskaičiuoto žemėjimo profilių koridoriaus ribas. Juoda briūkšniuota zona parodo šiuo metu naudojamų CDA artėjimų orlaivių leidžiamas skridimo zonas. Raudona linija atspindi prieš tai naudotų artėjimo tūpti procedūrų ribas. Jų metu orlaivis turėdavo kirsti IAF GEKBI tašką 4000 ft aukštyje. Tai reiškia, kad orlaivis turėdavo būti įvedamas į horizontalaus skrydžio segmentą dar gerokai iki šio taško. Nuo šio taško įprastinių artėjimo metu orlaivis turėdavo nužemėti iki 2700 ft ir skristi iki FAF tūpimui pagal prietaisus. CDA procedūros metu orlaivis žemėja iki pastoviai iki FAF.



51 pav. MURUN 2B atvykimo profilių ribos

TAGOL 2B atvykimas. Atstumas žemės atžvilgių nuo tako slenksčio iki IAF GEKBI taško 15 NM. Nuo IAF GEKBI iki VI404 taško 19,6 NM. Nuo VI404 iki TAGOL taško 16,2 NM. Bendras atstumas nuo tako slenksčio iki TAGOL 50,8 NM.

Viršutinės ribos skaičiavimas išskirstomas į dalis:

1. Tako slenkstis – FAF (6 NM);

$$6 \times 350 + 646 = 2746 \text{ ft}$$

2. Tako slenkstis – IAF GEKBI (15 NM);

$$15 \times 350 + 646 = 5896 \text{ ft}$$

3. Tako slenkstis–VI404 (34,6 NM);

$$34,6 \times 350 + 646 = 12756 \text{ ft}$$

4. Tako slenkstis–TAGOL (50,8 NM).

$$50,8 \times 350 + 646 = 18426 \text{ ft}$$

Apatinę ribą išskirstome į dalis:

1. VI404;

$$19,6 \times 220 + 4000 = 8312 \text{ ft}$$

2. TAGOL.

$$(35,8 - 5) \times 220 + 4000 = 10776 \text{ ft}$$

TAGOL taškas:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL184; apatinė FL108.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–apatinė FL110.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–apatinė FL110.

VI404 taškas:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL127; apatinė FL83.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–apatinė FL90.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–apatinė FL75.

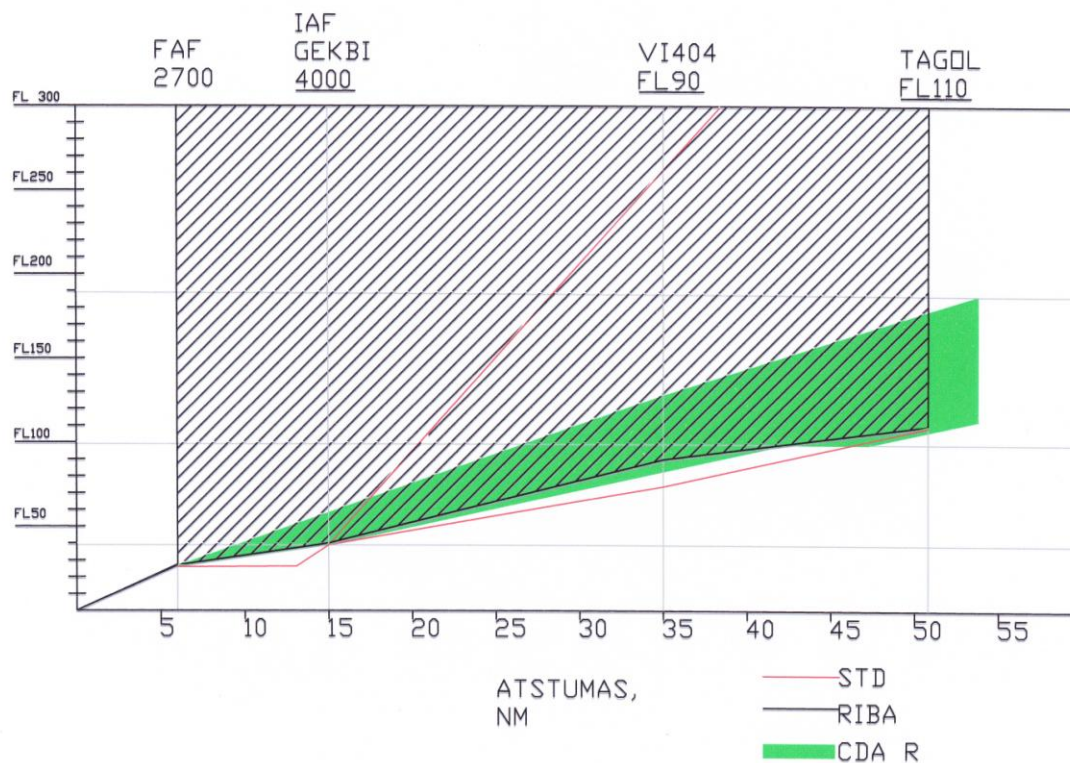
IAF GEKBI:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL59; apatinė FL40.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–apatinė FL40.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–griežtai ribojamas 4000 ft aukštis.

52 paveikslėlyje pateikta galimų vertikalių žemėjimo profilių ribos. Žalias koridorius parodo ICAO rekomendacijomis apskaičiuoto žemėjimo profilių koridoriaus ribas. Juoda briūkšniuota zona parodo šiuo metu naudojamų CDA artėjimų orlaivių leidžiamas skridimo zonas. Raudona linija atspindi prieš tai naudotų artėjimo tūpti procedūrų ribas. Jų metu orlaivis turėdavo kirsti IAF GEKBI tašką 4000 ft aukštyje. Tai reiškia, kad orlaivis turėdavo būti įvedamas į horizontalaus skrydžio segmentą dar gerokai iki šio taško. Nuo šio taško įprastinių artėjimo metu orlaivis turėdavo nužemėti iki 2700 ft ir skristi iki FAF tūpimui pagal prietaisus. CDA procedūros metu orlaivis žemėja iki pastoviai iki FAF.



52 pav. TAGOL 2B atvykimo profilių ribos

UTENU 2B atvykimas. Atstumas žemės atžvilgių nuo tako slenksčio iki IAF GEKBI taško 15 NM. Nuo IAF GEKBI iki VI405 taško 19,6 NM. Nuo VI405 iki UTENU taško 15,1 NM. Bendras atstumas nuo tako slenksčio iki UTENU 49,7 NM.

Viršutinės ribos skaičiavimas išskirstomas į dalis:

1. Tako slenkstis–FAF (6 NM);
 $6 \times 350 + 646 = 2746 \text{ ft}$
2. Tako slenkstis–IAF GEKBI (15 NM);
 $15 \times 350 + 646 = 5896 \text{ ft}$
3. Tako slenkstis – VI405 (34,6 NM);
 $34,6 \times 350 + 646 = 12756 \text{ ft}$
4. Tako slenkstis–UTENU (49,7 NM).
 $49,7 \times 350 + 646 = 18041 \text{ ft}$

Apatinę ribą išskirstome į dalis:

1. VI405;
 $19,6 \times 220 + 4000 = 8312 \text{ ft}$
2. UTENU.

$$(34.7 - 5) \times 220 + 4000 = 10534 \text{ ft}$$

UTENU taškas:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL180; apatinė FL105.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–apatinė FL110.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–apatinė FL110.

VI405 taškas:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL127; apatinė FL83.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–apatinė FL90.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–apatinė FL75.

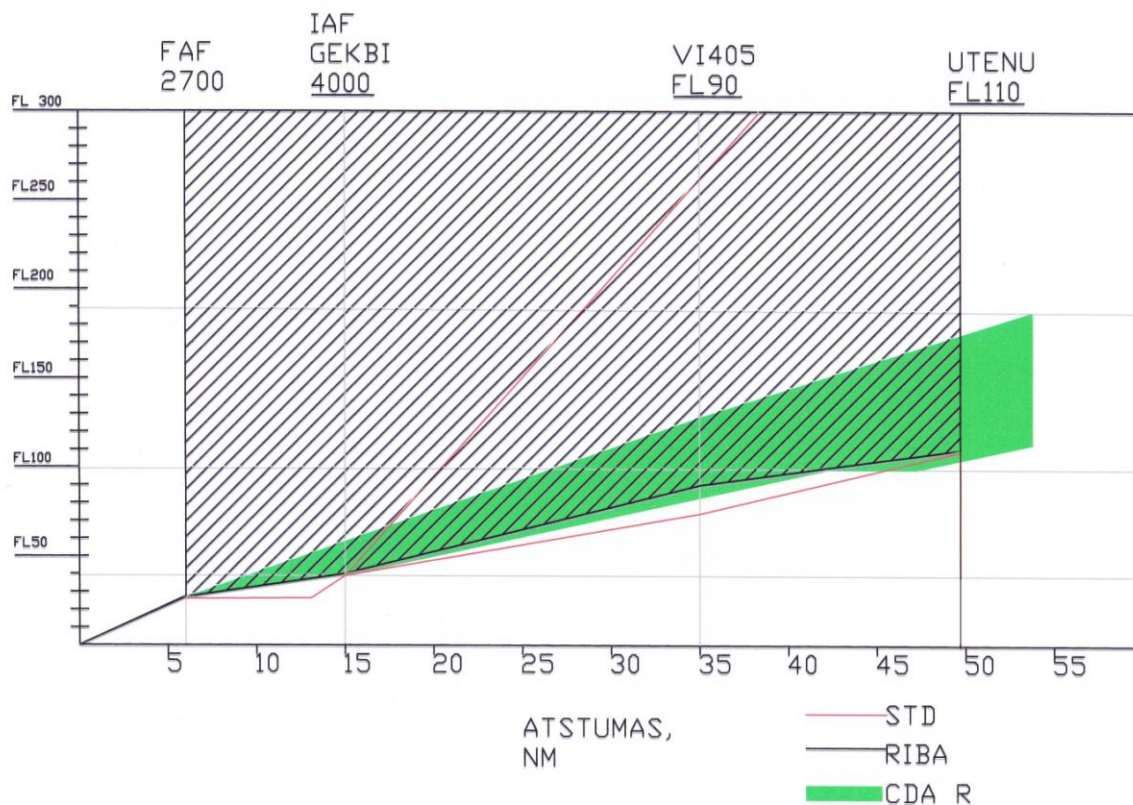
IAF GEKBI:

ICAO rekomenduojamas aukščio koridorius–viršutinė riba FL59; apatinė FL40.

Vilniuje naudojama CDA procedūra–apatinė FL40.

Prieš tai naudoto įprastinio artėjimo metu–griežtai ribojamas 4000 ft aukštis.

53 paveikslėlyje pateikta galimų vertikalių žemėjimo profilių ribos. Žalias koridorius parodo ICAO rekomendacijomis apskaičiuoto žemėjimo profilių koridoriaus ribas. Juoda briūkšniuota zona parodo šiuo metu naudojamų CDA artėjimų orlaivių leidžiamas skridimo zonas. Raudona linija atspindi prieš tai naudotų artėjimo tūpti procedūrų ribas. Jų metu orlaivis turėdavo kirsti IAF GEKBI tašką 4000 ft aukštyje. Tai reiškia, kad orlaivis turėdavo būti įvedamas į horizontalaus skrydžio segmentą dar gerokai iki šio taško. Nuo šio taško įprastinių artėjimo metu orlaivis turėdavo nužemėti iki 2700 ft ir skristi iki FAF tūpimui pagal prietaisus. CDA procedūros metu orlaivis žemėja iki pastoviai iki FAF.



53 pav. UTENU 2B atvykimo profilių ribos

Atlikus esamų Vilniaus oro uoste CDA ir ICAO rekomenduojamų vertikalios žemėjimo profilių analizę galima teigti, kad visi atvykimai KTT 20 patenka į rekomenduojamų žemėjimo profilio koridorių. Be to STAR atvaizduotos CDA procedūros netik patenka į šį koridorių, bet ir užtikrina maksimaliai išnaudotos viršutinės ribos aukštį, kuris praktiškai nėra ribojamas. Tai leidžia orlaiviams esantiems su didesne mase ar priešiniu vėju optimaliai išnaudoti duotą koridorių ir vykdyti žemėjimą esant nepalankiom sąlygom. Palyginus CDA su prieš tai buvusiomis įprastinio artėjimo procedūromis galima teigti, kad šiuo metu naudojamos CDA procedūros pralenkia prieš tai buvusias. Iš kitos pusės, prieš tai naudotos procedūros teoriškai atitiko optimalaus artėjimo procedūrą iki galutinio artėjimo kontrolinių taškų kadangi aukščiau taip pogi pateko į ICAO rekomenduojamą žemėjimo profilio koridorių. Sprendžiant iš brėžinių ir aukščio ribojimų nuo IAF taškų įprastinės artėjimo procedūros turėjo neigiamą įtaką tiek aplinkai tiek skrydžio ekonomiskumui.

IŠVADOS

1. Norint sumažinti triukšmo lygį gali būti naudojami keli skirtingi tūpimo būdai. Vieni iš jų reikalauji specialios antžeminės įrangos, kiti gali būti vykdomi pasitelkiant specifinį orlaivio pilotavimą.
2. Optimalaus artėjimo procedūros nereikalauja didelių investicijų. Pagrindinė šių procedūrų panaudojimo esmė optimaliai išnaudoti turimą oro erdvę. Optimalių artėjimo kūrimo procese būtina atsižvelgti į atvykstančių orlaivių tipus. Vadovaujantis ICAO rekomendacijomis galima sukurti lendvai pritaikomą CDA procedūros modelį.
3. CDA analizė tiek Amsterdamo, tiek Luizvilio oro uoste parodė šios procedūros didesnę naudą aplinkai lyginant su įprastinėmis artėjimo procedūromis. Amsterdamo atveju, CDA metu 65 dB triukšmo zona yra 30–55 % mažesnė. Paskutinių 45 km kuro sąnaudos yra 25–40 % mažesnės kas atitinka 400 kg B747 ir 55 kg B737 sutaupyto kuro. Luizvilio atveju, CDA procedūros metu vidutinis laikas paskutinių 180 jūrmylių iki tako 35L sumažėja 118 sekundžių B757–200 ir 147 sekundės B767–300 orlaiviams. Kuro sąnaudos paskutinių 180 jūrmylių metu į taką 35L 118 svarai B757–200 ir 364 svarai B767-300. Didžioji dalis kuro buvo sutaupyta TMA zonoje. B757–200 su *Pratt and Whitney* 60 dB triukšmo zona sumažėja 12 %. B757–200 su *Rolls–Royce* varikliais 60 dB triukšmo zona sumažėja 33 %. B767-300 60 dB triukšmo zona sumažėja 17 %.
4. Atlikta Vilniaus oro uoste CDA ir ICAO vertikalios žemėjimo profilių analizė parodė, kad atvykimai KTT 20 patenka į rekomenduojamą žemėjimo profilio koridorių. Be to STAR atvaizduotos CDA procedūros ne tik patenka į šį koridorių, bet ir užtikrina maksimaliai išnaudotos viršutinės ribos aukštį, kuris praktiškai nėra ribojamas. Tai leidžia orlaiviams esantiems su didesne mase ar priešiniu vėju optimaliai išnaudoti duotą koridorių ir vykdyti žemėjimą esant nepalankiom sąlygom. Palyginus CDA su prieš tai buvusiomis įprastinėmis artėjimo procedūromis galima teigti, kad šiuo metu naudojamos CDA procedūros pralenkia prieš tai buvusias. Antra vertus prieš tai naudotos procedūros teoriškai atitiko optimalaus artėjimo procedūrą iki galutinio artėjimo kontrolinių taškų kadangi aukščiau taip pogi pateko į ICAO rekomenduojamą žemėjimo profilio koridorių. Sprendžiant iš brėžinių ir aukščio ribojimų nuo IAF taškų įprastinės artėjimo procedūros turėjo neigiamą įtaką tiek aplinkai tiek skrydžio ekonomiškumui.
5. Galime teigti, kad šiuo metu naudojamos optimalaus artėjimo procedūros Vilniaus oro uoste padės sumažinti triukšmo lygį bei oro taršą Vilniaus mieste. Taip pat šių procedūrų panaudojimas padės oro kompanijoms vykdančioms veiklą Vilniaus oro uoste sumažinti kuro sąnaudas artėjimo tūpti metu, ekonominiu požiūriu tai skatina didesnę aviacinę plėtrą.

6. Šiuo metu Vilniaus oro uoste naudojamų optimalių artėjimo procedūrų ir iki jų naudotų įprastinių artėjimo procedūrų įtaka aplinkai bei skrydžio ekonomiškamui oro paslaugų teikėjas atlikęs nebuvo. Rekomendacija atlikti bandomuosius skrydžius, kurių duomenys būtų panaudoti prieš tai minėtų procedūrų palyginimui bei tolimesniam esančių artėjimo procedūrų tobulinimui.
7. Didėjant oro eismo srautams šiuo metu naudojama atvykimo oro kelių išdėstymo struktūra gali tapti neefektyvi. Norint išlaikyti saugius atstumus tarp orlaivių gali tekti naudoti greičio apribojimus arba vektoriavimą. Dėl to dalis skrydžių negalės naudotis optimalaus artėjimo procedūra. Rekomendacija būtų pradėti kurti susijungiančių kelių metodo oro erdvės struktūrą.

LITERATŪROS IR ŠALTINIŲ SĄRAŠAS

LITERATŪRA

Žinynai

1. ICAO DOC9931. Continuous descend operations manual.
2. EUROCONTROL. 2008. Continuous descent approach implementation guidance information.
3. ICAO DOC8168. 2006. Construction of visual and instrument flight procedures, Volume 2.
4. ICAO. Performance based navigation manual, volume 1.

Straipsniai periodiniuose moksliniuose žurnaluose

1. Milosavljević, V. 2009. Approach and landing procedures for airports “Nikola Tesla” and “Batajnica” using RNP AR APCH and Baro-VNAV, Journal of Civil Aviation.

Disertacijos

1. Nhut Tan Ho. 2005. Design of noise abatement approach procedures for near-term implementation, Massachusetts Institute of Technology.
2. Liling Ren. 2007. Modeling and managing separation for noise abatement arrival procedures, Massachusetts Institute of Technology.

Straipsniai konferencijų medžiagų rinkiniuose

1. Liling Ren. 2007. Modeling and managing separation for continuous descent arrivals, 3rd annual Joseph A. Hartman student paper competition.
2. Kershaw A. D., et al. 2000. The influence of ATC in approach noise abatement, 3rd USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar Napoli.
3. Ludovic Boursier, et al. 2007. Merging arrival flows without heading instructions, 7th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Barcelona, Spain.

ŠALTINIAI

Ataskaitos

1. John-Paul Clarke, et al. 2006. Development, design, and flight test evaluation of a continuous descent approach procedure for nighttime operation a Louisville international airport.

Kiti šaltiniai

1. Igor Štimac, et al. Implementation of continuous descent approach at Zagreb airport.
2. Dan Ivanescu, et al. Models of air traffic merging techniques—evaluating performance of point merge, EUROCONTROL experimental centre, Brétigny-sur-Orge, France.
3. Rosa M. Oseguera-Lohr, et al. 2007. Crew procedures for continuous descent arrivals using conventional guidance, Langley research center, Hampton, Virgini.

Interneto šaltiniai

1. Europos navigacinių schemų duomenų bazė <http://www.ead.eurocontrol.int/eadcms/eadsite/index.php.html>
2. <http://www.eurocontrol.int>
3. <http://www.icao.int>