

Eesti Lennuakadeemia TOIMETISED

Artiklite ja uurimistööde kogumik

Ülenurme 2014

© Eesti Lennuakadeemia 2014

Toimetaja Carmen Ruus

Trükk Paar OÜ

ISSN 2228-2459

EESSÕNA

Hea lugeja, kolmanda väljaandega Eesti Lennuakadeemia toimetistest üritame Sinuni tuua huvipakkuvad teemad meie õppejõudude ja üliõpilaste töödest.

Artiklite ja uurimistööde kokkuvõtetega kajastame meie kõrgkooli osakondade nägemust lennundusvaldkonna võimalikest arengusuundadest, üliõpilaste edukamate uurimustööde tulemusi ja ka õppejõudude erialast huvi valdkonna probleemide lahendamisel .

Lennuakadeemia ülesandeks on lisaks õppetegevusele ka rakendusuringute läbiviimine. Selle tegevuse järjepidev kajastamine toimetistes on kindlasti aluseks Eesti Kõrghariduse Kvaliteediagentuuri institutsionaalse akrediteerimise hindamisprotokollis toodud arvamusele lennuakadeemia kohta:

„Kõrgkoolis valitseb hea tasakaal akadeemiliste ning välistest erialaspetsialistidest / praktikutest juhendajate vahel, mis tagab juhendamise professionaalsuse ja üliõpilastööde kvaliteedi, motiveerib üliõpilasi ning viib positiivsete lõpetamistulemusteni.“ (EKKA hindamisnõukogu protokoll 5.02. 2014)

Ülaltoodu on suureks tunnustuseks kõigile kogumike koostamisel osalenutele, autoritele, eriti aga toimetaja Carmen Ruusile.

Selleks, et koostööle rakendusuringute valdkonnas veelgi hoogu juurde anda, ootame lennundusettevõtetelt neile huvipakkuvaid uurimistööde teemasid ja uusi probleemipüstitusi.

Head lugemist ja lennundusalaste rakendusuringute jätkamist!

Jaanus Jakimenko (MA)

Rektor

24. oktoober 2014

SISUKORD

ÜLIÕPILASTE LÕPU- JA UURIMISTÖÖD	6
LENNULIIKLUSTEENINDUS	7
T. Jakobson Regionaallennuvälja lennuliiklusteenuse võrdlus SESAR- kontseptsiooniga Tartu lennuvälja näitel	10
K. Vodja FEAST-testide tulemuste seos õppesooritusega lennuliiklusteeninduse erialaõppes.....	16
LENNUNDUSE SIDE- JA NAVIGATSIOONISÜST EEMIDE KÄITAMINE	21
M. Allik Tartu observatooriumi satelliitside maajaama antennipööraja kohandamine madalaorbiidiliste satelliitide jälgimiseks.....	23
P. Karu Lennundusside õppematerjalide täiendamine	26
ÕHUSÕIDUKI JUHTIMINE.....	29
K. Rattassep Eelrotaatori valik ülikergautožirole	32
LENNUNDUSETTEVÕTTE KÄITAMINE.....	37
H. Järvala Lennuandmete monitooringu võimalused ASs Panaviatic	40
K. Likk Tartu lennujaama automaatinfoteeninduse süsteemi teostatavuse uuring	47
K. Lemet ASi Estonian Air lennukite E170 JA CRJ900 ümberpööramise protseduurid Tallinna lennujaamas	55
ÕHUSÕIDUKI EHITUS JA HOOLDUS	62
K. Laimets Õppetreeninglennuki PTO-4 tiivatala tugevuse kontroll	65
RAKENDUSUURINGUD.....	70
P. Lauk Tehnilised võimalused Boeing 737 Classic (300; 400; 500) seeria reisilennukite moderniseerimiseks	71
H-T. Keskikuru, A. Vare Implementation of global navigation satellite system based ATC procedures at Tartu airport	77
M. Kirik The possibility of using ethanol as a fuel in aviation.....	90

ÜLIÕPILASTE LÕPU- JA UURIMISTÖÖD

LENNULIIKLUSTEENINDUS

SAATEKS

Lennuliiklusteeninduse valdkonna arengut mõjutavad olulisemad tegurid on lennuliikluse kasv, ühise lennunduskeskkonna loomine Euroopas ning sellest tulenev järjest laialdasem ühtsete standardite kasutuselevõtt. Eestis lennuliiklusteenindust osutavad ettevõtted (Lennuliiklusteeninduse AS (LLT AS), Eesti Õhuvägi, AS Tallinna Lennujaam) arendavad protseduure ja tehnoloogiaid lähtudes Euroopa ühtse õhuruumi lennuliikluse korraldamise teadusuuringu programmi juhtplaanist (*Single European Sky Air Traffic Management Research programme*).

Sealhulgas on alatatud GNSS-põhiste (globaalse satelliitnavigatsioonisüsteemi) protseduuride rakendamine Eesti lennuväljadel. Nimetatud protseduurid on juba rakendatud Tallinna lennuväljal, järgmisena võetakse uued protseduurid kasutusele Tartu lennuväljal, seejärel Kuressaare ja Kärkla lennuväljal. (www.eans.ee)

Tartu lennuvälja GNSS-põhiste protseduuride arendustegevuse raames osutasime LLT AS-le konsultatsiooniteenust. Lepingust tulenevate ülesannete täitmiseks on lennuliiklusteeninduse koolitusosakonna instruktor Tapani Keskikuru koostanud kavandi projekti Tartu lennuvälja standardsete IFR-väljumisprotseduuride (SID-de) loomiseks ja lennuvälja kohalike lennujuhtimisprotseduuride (sh hajutusprotseduuride) täiendamiseks. Käesolevas kogumikus on võimalik tutvuda selle temalise artikliga.

Õhuväe Ämari Lennubaasi projektis on LLT AS-i ja Kaitseväge ühine eesmärk alates 1. jaanuarist 2015. a saavutada võimekus osutada terviklikku lennujuhtimis-, lennuinfo- ja häireteenust Ämari lennuväljal. Projekt näeb ette Ämari lennubaasi lähiala ja Tallinna lennujaama lähenemisala ümberkujundamist. Projekti käigus on vajalik välja töötatud õhuruumi korralduse ja lennujuhtimisprotseduuride testimine lennujuhtimise simulaatoris. Lennuakadeemia ülesanded selle projekti juures on nii Tallinna lähenemisala ja -protseduuride kui Ämari lähiala ja -protseduuride programmeerimine lennujuhtimise simulaatoris ning osalemine testimis-sessioonide läbiviimisel.

Kogumikus toodud lõputööd esindavad kahte erinevat näidet meie üliõpilaste uurimisteemade valikust. Esimene teema sai valitud, kuna autor soovis uurida osakonna koolitusprotsessi kahe etapi, kandidaatide valikuprotsessi ja simulaatorõppe vahelisi seoseid. Teine teema on ajendatud autori huvist laiendada oma teadmisi ja uurida sellist teemat, mis on suunatud uute

tehnoloogiate kasutusele võtuks sobiva testkeskkonna loomisele Tartu lennuväljal.

Anu Vare

Lennuliiklusteeninduse osakonna juhataja

REGIONAALLENNUVÄLJA LENNULIIKLUSTEENUSE VÕRDLUS SESAR-KONTSEPTSIOONIGA TARTU LENNUVÄLJA NÄITEL

TOOMAS JAKOBSON

Juhendaja Jaan Tamm (PhD), konsultant Rene Lüll

Märksõnad: SESARi juhtplaani, lähilennujuhtimise teenus Tartu lennuväljal

Sissejuhatus

Euroopa Liit koosneb kümnetest riikidest, millest igaühel on oma lennuliiklusteeninduse osutaja ning mis vastutab täielikult vastava riigi kohal toimuva lennuliikluse eest. Selline lennuliikluse korraldus on ebaökoonoomne ning piirab Euroopa lennunduse paindlikkust ja arengut. Euroopa ülimalt fragmenteeritud õhuruumi puudujääkide parandamiseks algatati Euroopa Liidu ja EUROCONTROLi poolt ühendatud Euroopa taeva initsiatiiv, mille teaduslik-tehnilise alustala moodustab SESAR-programm (*Single European Sky Air Traffic Management Research*).

SESAR-programm näeb Euroopa lennundusvaldkonnale ette palju erinevaid tehnoloogilisi ja protseduurilisi uuendusi, nendest perspektiivikam ja mõnest aspektis kõige kasumlikum madala lennuliiklustihedusega äärealadele on autori arvates *Remote Tower* ehk distantsilt osutatav lähilennujuhtimine. Selle süsteemi juurutamine Eestis oleks kasulik nii kodumaisele lennundustehnilisele arendus- ja teadustegevusele, kui ka Eesti majandusele. Kaugjuhitava lähilennujuhtimise kontseptsiooni rakendamine võiks toimuda samm-sammult ning sobiv asukoht süsteemi testimiseks oleks Tartu lennujaam, kuna tegemist on kontrollitava lennuväljaga ning vähene liiklusmaht sellel lennuväljal võimaldaks sujuvat eksperimentaalsete süsteemide testimist, põhjustades minimaalselt tõrkeid igapäevases töös. Teine Tartu lennujaama eelis on tema lähedus Eesti Lennuakadeemiale, kellega võiks teha sellise tehnilise projekti arendamisel laiaulatuslikku koostööd.

Lõputöö eesmärk on võrrelda SESAR-programmi juhtplaanis välja toodud funktsionaalsusi ja uuendusi madala koormusega lennuväljadele Tartu lennujuhtimisüksuse olemasolevate süsteemide ja protseduuridega, eesmärgiga rakendada Tartu lennuväljal vähemalt testimiseks toimiv kaugjuhitav lähilennujuhtimise süsteem. Töös analüüsitakse, kuivõrd on Tartu lennujuhtimisüksus käinud kaasas Euroopa järgmise põlvkonna ATM-süsteemide juurutamisega. Töö tulemusel saab selgema ettekujutuse, kui palju

uuendusi peab tegema Tartu lennujuhtimisüksuses, et saaks hakata testima kaugjuhitava lähilennujuhtimise süsteemi.

Sisu ja tulemused

Lõputöö metoodika põhineb kirjanduse analüüsil ning Tartu lennujuhtimisüksuses süsteemi, protseduuride ning töömeetodite analüüsil. Põhilisteks kirjandusallikateks on SESAR Euroopa lennuliikluskorralduse juhtplaan ning Tartu lennujuhtimisüksuse kohalike protseduuride kogumik. Peamiseks elektrooniliseks allikaks on juhtplaani internetiportaal eATM¹.

Esimeses peatükis kirjeldatakse ühtse Euroopa taeva (SES) initsiatiivi, selle põhisambaid ning lähilennujuhtimist üldiselt. Eraldi kirjeldatakse SESi tehnoloogilist sammast ehk SESAR-programmi.

Teises peatükis kirjeldatakse kokkuvõtlikult Tartu lähilennujuhtimisüksuse kohalikke protseduure – eelkõige neid punkte, mis võiksid seostuda enim SESAR-programmis esile toodud uuendustega ning kaugjuhitava lähilennujuhtimise kontseptsiooniga.

Kolmandas peatükis on tabeli kujul välja toodud kõik SESARis ettenähtud uuendused madala koormusega lennuväljadele alates baasuuendustest kuni teise astme uuendusteni. Lisaks on iga uuenduse juures lühisõnaliselt ära öeldud, kas see uuendus on juba kasutusel Tartu lennujaamas, või kas seda on plaanis lähemal ajal kasutusele võtta. See informatsioon on tuletatud Tartu lennujuhtimisüksuses kohapeal olevatest dokumentidest, kasutatavate seadmete inspekteerimisest ning üksuses töötavate lennujuhtide suulisest küsitlemisest.

SESARist tulenevad uuendused erinevatele lennuliiklusteeninduse kategooriatele on täpselt välja toodud SESAR-juhtplaani eATM portaalis. Kõiki neid uuendusi nimetatakse ühtselt operatsioonilisteks täiendussammudeks. Operatsiooniline täiendus on mistahes operatsiooniline meede täiustamaks eksisteerivat lennuliiklusteenindust määratud aja jooksul. Operatsioonilised täiendused ei ole tingimata seotud tehnoloogiliste uuendustega, vaid võivad seonduda uuenduslike protseduuridega, töömeetodite ja -rutiinidega ning inimteguritega. Autor kirjeldab ja analüüsib operatsioonilisi täiendussamme madala koormusega lennuväljadele².

¹ <https://www.atmmasterplan.eu/about>

² Lennujaamad, kus vastavalt SESARi definitsioonile on 30 või vähem operatsiooni tunni ajal.

Operatsioonilised täiendused liigituvad neljaks: kasutuselevõtu baasuundused ning kolm põhiastet. Iga aste on planeeritud täide viia vastavalt ajakavale, kusjuures enamik baasuundusi ning paljud esimese astme uuendused peaksid ajakava kohaselt olema juba juurutatud.

Lõputöö kolmanda peatüki alapeatükkide tabelites on välja toodud madala läbilaskevõimega lennujaamadele mõeldud baasuundused (tabel 1), esimese astme uuendused (tabel 2) ning ka teise astme uuendused (tabel 3). Samuti on märgitud, kas uuendus on juba rakendatud Tartu lennujaamas või kas seda on plaanis rakendada. Märkused on nii sõnalised kui ka värvikoodiga (punane – ei ole, roheline – on ja kollane – juurutamine on mingil tasandil käimas). Kolmanda astme uuendused on tabelitest välja jäetud, kuna neid uuendusi on ainult kolm ning need on oma sisult sarnased eelnevates astmetes välja toodud uuendustega, kuid sisaldavad endas veelgi arenenumaid tehnoloogiaid. Informatsioon on saadud Tartu lennuliiklusteeninduse praeguste protseduuride ja süsteemide uurimisest ning ka Tartu lennujuhtide otsesest küsitlemisest. Baasuundused on kõigi järgnevate operatsiooniliste uuenduste alustalaks ning need peaks rakendama esmajärjekorras.

Siinkohal on toodud väljavõtte lõputöös esitatud esimesest tabelist.

Nimetus	Kirjeldus	Esmane operatsiooniline valmidus / rakendatus Tartus	Lõplik operatsiooniline valmidus / plaanitud uuendused
Lihtsustatud lennundusalse informatsiooni vahetus digitaalsete abivahendite kaudu.	Lennunduslane informatsioon on saadaval elektroonilisel kujul lennundusalasest teabekogumikust.	2012/ eAIP kasutusel	2017/ vajadusel jooksvad täiendused
Täiendavad kiirruleerimisteed	Kiirruleerimisteed aitavad vähendada õhusõidukite rajal oleku aega kiirendades nii üleüldist liiklusvoogu	2006/ Ei ole	2011/ Üks lisa-ruleerimistee

Joonis 1. Väljavõtte tabelist 1. Kasutuselevõtu baasuundused

Esimene aste koosneb ajapõhistest uuendustest ning on hetkel kehtiva SESAR-juhtplaani peamiseks sisuks. Ajapõhised uuendused jätkuvad ka teises astmes. Lõputöös esitatud tabelis 2 on kirjeldatud esimese astme uuendusi esmase operatsioonilise valmidusega aastani 2020.

Teine aste koosneb trajektooripõhistest uuendustest. Teise astme uuendusi on võrreldes baas- ja esimese astme uuendustega vähem – eelkõige seetõttu, et kehtiv juhtplan keskendub baas- ja esimese astme uuendustele. Teise astme uuendustega hakatakse põhjalikumalt tegelema siis, kui eelnevad uuendused on suuremas osas kasutusele võetud. Teise astme uuendused on lõputöös välja toodud tabelis 3.

Neljandas peatükis esitatakse ülevaatlik analüüs sellest, kui edukalt on Tartu lennujaam Euroopa nõudmistega kaasas käinud ning selle põhjal on esitatud mõningad soovituselised arestades praeguseid perspektiive.

Võrreldes SESAR-programmis plaanitud ning nõutavaid uuendusi Tartu lennujaama ning lennujuhtimisüksuse praeguste süsteemidega tuleb ilmsiks, et Tartu lennujaamas ei ole kasutusele võetud enamikke uusi tehnoloogiaid, mida SESAR ette näeb. See on siiski arusaadav, kuna enamik uuendusi, mida SESAR esitab, on kulukad sellisele väiksele riigile nagu Eesti ning veelgi väiksemale lennujaamale nagu seda on Tartu lennujaam. Samuti ei oleks Tartu lennujaamas praktiline ega ökonoomne paljusid SESARist tulenevaid uuendusi kiiremas korras rakendada, sest nende süsteemide täispotentsiaali ei oleks võimalik kasutada.

Protseduurilised uuendused moodustavad SESARi uuendustest väiksema osa, kuid nende eeliseks on see, et neid on võimalik rakendada kiiremini ja odavamalt, saavutades märgatava operatsioonilise võimekuse kasvu ja/või ohutuse paranemise. Suurem osa protseduurilistest uuendustest nõuavad sünergiat ja koostööd kõikide lennujaama kasutavate osapoolte vahel.

Kokkuvõte

Tartu lennujaam koos Eesti Lennuakadeemiaga on sobilik koht tehnoloogiliste lahenduste testimiseks ning väljatöötamiseks. See aitaks tõsta kodumaist teadustöö võimekust ning võimaldaks Eesti lennundusel ajaga kaasas käia. Lennuakadeemia võiks koostööd teha nii Tartu lennujaamaga kui ka näiteks Tallinna Tehnikaülikooli ja Tartu Ülikooliga, töötades ja testides koos uue põlvkonna süsteeme.

Kuigi mitmed SESAR-uuendused on Tartu lennujaamas juba kasutusel, on paljud siiski veel väga kaugel kasutuselevõtust. Antud kontekstis (väike lennujaam ja väike riik) ei saa rääkida mingitest valedest otsustuskäikudest või arengus seisma jäämisest. Samas peaks ajaga jõudumööda kaasas käima isegi väike lennuväli, nagu seda on Tartu Ülenurme. Aegapidi seda ka tehakse ning vähehaaval olekski mõistlik Tartu lennuväljale tuua SESAR uuendused.

Rakendades osad süsteemid Tartus enne nende kasutusele võttu Tallinnas, saab neid testida Tartu lennuvälja vähese koormusega keskkonnas, mitte takistades seeläbi Tallinna lennujaama igapäevaseid operatsioone. Ka protseduure saaks testida eelnevalt Tartu lennuväljal. Kuna Tartu lennujaamas pole piisavalt regulaarliiklust, võiks kaasata protsessi ka Eesti Õhuväe ja Politsei- ja Piirivalveameti õhusõidukeid, simuleerimaks tiheda liikluse olukorda ning saades seeläbi teada süsteemide reaalse võimekuse ning kasumlikkuse.

T. Jakobson. *Regionaallennuvälja lennuliiklusteenuse võrdlus SESAR-kontseptsiooniga Tartu lennuvälja näitel:* lõputöö, juhendaja Jaan Tamm (PhD), konsultant Rene Lüll. Eesti Lennuakadeemia, Tartu 2014.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 21 allikat.

SUMMARY

COMPARISON OF A REGIONAL AIRPORT'S AIR TRAFFIC SERVICE WITH THE SESAR CONCEPT BY EXAMPLE OF TARTU AIRPORT

Key words: SESAR concept, implementation possibilities at small airports

Europe is the home to one of the most congested airspaces in the world. The combination of a high-income society in Europe and a relatively large population makes congestion inevitable. The situation could be improved, however, by uniting Europe's airspace and abolishing national borders in the air. This is the aim of the Single European Sky (hereinafter SES) initiative – to make Europe's air traffic more efficient and more cost-effective. The technological pillar of the SES initiative is called Single European Sky ATM Research programme (hereinafter SESAR).

SESAR proposes many different improvements and upgrades for the current ATM environment. This thesis focuses on the comparison of the improvements proposed to low capacity airports with Tartu Airport's current procedures and

systems. One of the most potentially beneficial new technologies that SESAR suggests is the remote tower concept. The aim of the thesis is to research whether it would be feasible or even possible to test a remote tower system or, in fact, other next generation systems in Tartu Airport Air Traffic Control Unit.

The sources used in this thesis are mainly Tartu Airport Air Traffic Control Unit's handbook with all the documents associated with it, the SESAR ATM Master Plan and the Master Plan's eATM portal.

The thesis consists of four chapters. Chapter 1 is mostly theoretical and gives a short description of ATM, SES and SESAR. Chapter 2 analyses Tartu Airport Air Traffic Control Unit's current procedures. Chapter 3 is composed mainly of tables with the most technological and procedural improvements proposed by SESAR. In addition, the table provides information on whether a certain improvement has been implemented in Tartu or is planned to be implemented. Chapter 4 reviews the findings from Chapter 3 and also contains a suggestion for further action by the author.

A comparative analysis has shown that Tartu Airport's current procedures and systems are falling behind the SESAR implementation schedule. It must be noted, however, that many upgrades proposed by SESAR are not necessary or even relevant to the air traffic environment of Tartu Airport. Nonetheless, Tartu Airport's small size and proximity to Estonian Aviation Academy makes it an ideal location to test next generation technologies, even if they might not be profitable for the time being. If all Estonian regional airports' air traffic control needs could be provided from a single remote location, it would undoubtedly be a very cost-effective solution.

The author recommends a slow but continuous implementation of the proposed SESAR upgrades in order not to stagnate and fall behind the other European air traffic service providers. The remote tower concept, even though expensive and difficult to realize, would be an enormous boost to domestic research capabilities, especially when developed in synergy with Estonian Aviation Academy and perhaps other Estonian higher education institutions. Many requirements have to be fulfilled in order to start testing a remote tower system, it is, however, highly achievable if some effort was put into it.

FEAST-TESTIDE TULEMUSTE SEOS ÕPPESOORITUSEGA LENNULIIKLUSTEENINDUSE ERIALAÕPPES

KRISTIN VODJA
Juhendaja Maria Tamm (MSc)

Märksõnad: FEAST-testid, DART-test, kognitiivsed võimed, õppimisvõime, lennujuhi erialaõpe

Sissejuhatus

FEAST-testide (*i.k. The First European Air Traffic Controller Selection Test Package, e.k. esimene Euroopa lennujuhtide valiku testi pakett*) paketi arendas välja Euroopa Lennuliikluse Ohutuse Organisatsioon EUROCONTROL aastatel 2000 – 2003 Inimressursside Programmi raames (*i.k. Human Resources Programme*). Pärast edukat valideerimisprotsessi võeti FEAST-teenus üldisesse kasutusse aastal 2006. Selleks ajaks oli 32 lennuliiklusteeninduse osutajat kasutanud FEAST-teste kandidaatide valikuprotsessis ning rohkem kui 22 000 kandidaati oli testi sooritanud. (FEAST 2010)

Lõputöö eesmärk on uurida Eesti Lennuakadeemia lennuliiklusteeninduse eriala üliõpilaste vastuvõtuprotsessis kasutatavate FEAST-testide tulemuste seost õppesooritustega lennuliiklusteeninduse erialaõppe simulaatoretapis.

Teema on aktuaalne, sest FEAST-testide pakett on lennuakadeemias lennujuhtide vastuvõtuprotsessis olnud kasutusel võrdlemisi lühikest aega ning väike kandideerijate hulk limiteerib nii valikute tegemise võimalusi kui ka testide sobivuse hindamist vastuvõtuprotsessis. Samuti on lennuliiklusteeninduse eriala simulaatorõppe mittesooritanute arv märkimisväärne.

Lõputöös analüüsitakse testide ja õppesoorituse korrelatsiooni ning tulemuste erinevusi nii aastate lõikes kui ka mees- ja naissoost üliõpilaste soorituse osas. Lisaks uuritakse õpilaste soorituste varieeruvust lähenemislennujuhtimise (APS) simulaatorõppes.

Töö praktiline väljund seisneb vastuvõtuprotsessis kasutatavate FEAST-testide olemuse lahtiseletamises ning seoste tõlgendamises vastuvõtukomisjoni jaoks, kes lõpuks teeb seeläbi teadlikuma otsuse, keda erialale vastu võtta ja kelle kandideerimistaotlus tagasi lükata. Lõputöös tehakse analüüsi tulemusel järeldused, missuguseid kriteeriume peaks arvesse võtma ning millised tegurid

määravad edukuse või ebaedukuse edasises erialaõppes, muutes seeläbi valikuprotsessi efektiivsemaks.

Sisu ja tulemused

Lõputöö metoodika põhineb valdavalt kirjanduse ja statistiliste andmete analüüsil. Toetudes EUROCONTROLi materjalidele FEAST-testide väljatöötamisest ja valiidsuse uuringutest on kogutud ning seejärel analüüsitud infot FEASTi kohta. Lisaks käsitletakse kognitiivset testimist ja intelligentsust käsitlevat kirjandust laiemalt ning personalipoliitikaga seotud uurimustöid töövaldkondades, mille personali valimisel kasutatakse võimete teste. Toimub lennujuhi erialaõppe õpilaste FEAST-testide tulemuste ja simulaatorõppe soorituste võrdlus ja analüüs ning tehakse järeldused.

Lõputöö esimeses osas antakse ülevaade FEAST-testidest ja nende rakendamise tulemusi kajastavast EUROCONTROLi FEASTi valideerimis-uuringust ja kognitiivse testimise kirjandusest. Ühtlasi käsitletakse teooriaid oskuste omandamise protsessi ja individuaalsete erinevuste kohta. Lõputöö teises, analüütilises osas, võrreldakse FEASTi tulemusi simulaatorõppe sooritustega ja leitakse omavahelised seosed ning tehakse järeldused. Selleks et hinnata õpilaste soorituse varieeruvust treeningprotsessi jooksul, koostas autor testharjutuste soorituse hindamiseks hindamislehed. Testharjutuste tulemusi hinnati autori hindamislehtede alusel treeningu neljas etapis ning treeningu lõpul kahes eksamiharjutustes. Uurimus viidi läbi 2011., 2012., ja 2013. aastal erialaõpet alustanud lennujuhiõpilaste tulemuste alusel. Analüüsi testide tulemuste seoseid lähenemis- ja lähilennujuhtimise simulaatorõppe sooritustega ning tulemuste erinevusi soo-, kursuste- ja pädevusõppe sooritanud/ mittesooritanud gruppide lõikes. Analüüsi tulemused on esitatud kaheteistkümnes tabelis ja ühel joonisel. Alljärgnev tabel on üks näide töös esitatud andmetest.

Tabel. Korrelatsioonid DART-testi ja APS-simulaatorõppe soorituse vahel APS-simulaatorõppe sooritanute grupis.

	APS				
	<i>Spatial orientation/ scanning</i>	<i>Planning and understand- ing traffic</i>	<i>Knowledge of separations</i>	<i>Capacity</i>	<i>Koond- tulemus</i>
DART					
<i>Safety</i>	.49*	.62*	.20	.61*	.34
<i>Efficiency</i>	.44*	.46*	.34	.47*	.23
<i>Accuracy</i>	.36	.53*	.45*	.35	.45*
ATC	.60*	.64*	.42	.65*	.33
<i>Multitask</i>	.27	.42	.09	.43*	.15
Koondtulemus	.54*	.67	.29	.67*	.30

Märkus. *p<.05, N=28

FEAST-testide tulemuste ja õppesoorituste analüüsimisel esines mitmeid seoseid. Selgus, et FEAST I ennustas üsna hästi sooritust lähilennujuhtimise pädevusõppes, samas aga ei korreleerunud ükski FEAST I alatest lähenemislennujuhtimise sooritusega. DART-test ennustas hästi nii lähenemis- kui ka lähilennujuhtimise simulaatorõppe sooritust, kuid olulisi seoseid oli rohkem lähenemislennujuhtimise õppesooritusega. Ühtlasi selgus, et testharjutuste võrdlemisel lähenemislennujuhtimise simulaatorõppes hakkas variatsioon õpilaste soorituste vahel vähenema harjutamise käigus ning FEAST I test oli sooritusega seotud pigem simulaatorõppe esimestes etappides ja DART-test viimastes etappides.

Samas tõdes autor, et valimi piiratus ei võimalda uurimuse tulemusi piisaval määral üldistada, et teha põhjalikke järeldusi testide tulemuste ja erialaõppe soorituse seoste vahel. Siiski on antud töö tulemuste alusel võimalik saada rohkem teadmisi sellest, milliseid aspekte peaks testide tulemuste tõlgendamisel arvestama.

Kokkuvõte

Autor jõudis järeldusele, et FEAST I test ennustas sooritust ainult lähilennujuhtimise simulaatorõppes. Seega juhul, kui valitakse õpilasi korraka nii lennuliiklusteeninduse eriala lähi- kui ka lähenemislennujuhtimise pädevusõppesse, võib valikute tegemine FEAST I testi tulemuste põhjal olla

ebaadekvaatne. DART-testil oli aga seoseid mõlema pädevuse simulaatorõppe sooritusega. Seega võiks DART-test autori hinnangul olla parem variant juhul, kui valitakse õpilasi mõlema pädevuse erialaõppesse. Siiski olid mõlemad testid seotud vähemalt ühe eriala pädevusõppega ning täitsid oma eesmärgi. Autor lisab, et vajalik on edaspidine FEAST-testide tulemuste ja erialaõppe soorituste jälgimine ning uurimine ning valikuprotsessi efektiivsuse hindamiseks tuleks edaspidi uurida ka testide seoseid kutsesobivustestide ja sooritusega töökeskkonnas.

K. Vodja. *FEAST-testide tulemuste seos õppesooritustega lennuliiklus-teeninduse erialaõppes:* lõputöö, juhendaja Maria Tamm (MSc). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2014.

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 33 nimetust.

SUMMARY

THE CORRELATIONS BETWEEN FEAST TESTS RESULTS AND TRAINING PERFORMANCE IN AIR TRAFFIC SERVICES SPECIALITY STUDIES

Key words: FEAST tests, DART test, training performance, aviation psychology, cognitive abilities, learning ability, air traffic controller speciality training

The aim of this diploma thesis is to carry out a research on correlations between the results of the FEAST tests (The First European Air Traffic Controller Selection Test Package) and the performance of Air Traffic Services speciality training at Estonian Aviation Academy. The subject is relevant because of the nature of the FEAST test package, that was created specifically for the selection process with a large number of applicants enabling to select candidates having achieved results above cut-off score in all subtests. The relatively small number of applicants for admission to Estonian Aviation Academy does not enable to leave aside the candidates with a little below cut-off score results, otherwise the number of applicants left would be insufficient. But it is yet too soon to make judgements on the FEAST as it has been in use for a rather short period of time. So, it is vital that the outcomes of the implementation of the FEAST continue to be monitored. Since there is a quite high failure rate in the APS simulation training period, it could be beneficial to see the effects of implementing FEAST.

The main purpose of this study is to examine the correlation between FEAST test results and performance in APS and TWR control training. The analysis is carried out separately for each year's students. Two additional factors were considered – gender and pass/fail criteria. The variability of the student's performance in APS simulation training is also examined. Performance in speciality training was assessed based on pass/fail criteria and on instructor's subjective evaluation on each student individually, after the completion of the speciality training. The author also evaluates on what level the FEAST tests can predict the success in simulation training and what the conditions depend on.

The author analyses the results of FEAST and DART tests and APS simulation training, combining them with the theory of cognitive ability testing in order to come to the conclusion, which of the factors define the success rate. Thereby the thesis could be a helpful guidance material for making the selection process more efficient. It can also serve as informative material for everyone interested in the subject area.

The methodology of this thesis predominantly consists of the analysis of the specialist literature and the results of the FEAST, DART and APS simulation training tests. In order to monitor the development of students throughout the training course, the author has also compiled an evaluation sheet, which is specifically designed to meet the previously mentioned tests criteria. This is to be filled in by instructors after every test exercise to give an adequate overview of the performance level of each student.

The size of the sample does not allow the author to make any fundamental conclusions and outline a sufficient number of correlations in tests results and speciality training performances. Despite of that, the results of the analysis are quite considerable, the research should be continued in order to point out which of the aspects should be taken in consideration to understand or interpret the tests results. The author came to the conclusion that FEAST I predicted success only in TWR simulation training. Therefore, if students are being selected for both TWR and APS speciality training, FEAST I results could be misleading or insufficient. DART test, on the other hand, was in positive correlation with both TWR and APS simulation training performances. Considering that outcome the author's opinion is that DART test is a better choice to select students simultaneously for TWR and APS speciality training. Nevertheless, both of the tests did meet the requirements in their purpose, as they were related to at least one of the specialities.

LENNUNDUSE SIDE- JA NAVIGATSIOONISÜSTEEMIDE KÄITAMINE

SAATEKS

Side ja navigatsiooni osakonnal jätkus 2014. aastal koostöö heade koostööpartneritega lennundus- ja kõrgharidusmaastikul.

Möödunud, 2013. aasta kevadel saadeti Eestis edukalt orbiidile ESTCube-1, mille projektimeeskonnas osalesid ka lennunduse side- ja navigatsioonisüsteemide käitamise eriala üliõpilased. Käesolevas kogumikus on avaldatud Mari Alliku lõputöö, mille koostamine nõudis autorilt õppekavaväliste teemade omandamist, ning paistis teiste seast välja rakendatavuse poolest. Lõputöö tulemus, satelliitside maajaama antennipööramissüsteemi juhtseadme lisamoodul, oli juba enne lõputöö kaitsmist kasutusele võetud. Töö autor jätkab sarnaselt paljudele CNS-eriala lõpetanutele käesoleval sügisel teadmiste laiendamist magistriõppes.

Lennunduse side- ja navigatsioonisüsteemide käitamise õppekava on pidevas arengus seoses uuendustega lennunduses, mistõttu on osakond igal aastal andnud välja ka tulevikku visandavaid töid. Üliõpilaste lõputöödes analüüsiti õppekava ning pakuti välja ainekavade parendamist vastava aine laboritööde väljatöötamisega. Kogumikus on avaldatud lühikokkuvõtte Priit Karu lõputööst, mis tunnistati möödunud õppeaasta õppekava arendusega seotud lennuakadeemia lõputööde seast tugevaimaks.

Side ja navigatsiooni osakond soodustab olukorda, kus üliõpilane leiab lõputöö teema praktikakohalt, seega on nii praktikajuhendaja kui ka lõputöö juhendaja lennundusettevõtte töötaja. Praktika ja lõputöö vaheline tugev seos tagab akadeemia hariduslike eesmärkide täitmise ja lõputöö aktuaalsuse ning rakendatavuse ettevõttes.

Nele Andresen

Side ja navigatsiooni osakonna hoidja

TARTU OBSERVATOORIUMI SATELLIITSIDE MAAJAAMA ANTENNIPÖÖRAJA KOHANDAMINE MADALAORBIIDILISTE SATELLIITIDE JÄLGIMISEKS

MARI ALLIK
Juhendaja Viljo Allik (MSc)

Märksõnad: antennipööramissüsteem, asimuut, elevatsioon, ESTCube-1, satelliitside, Tartu Observatoorium

Satelliitsides kasutatavad jälgimissüsteemid peavad suutma väga täpselt satelliidi liikumist jälgida. Madalaorbiidiliste satelliitide puhul, nagu näiteks ESTCube-1, muutub kõrge elevatsiooninurgaga ülelendude puhul satelliidi asimuut lühikese aja jooksul ligi 180° ja elevatsioon 90° . See nõuab antennipööramissüsteemi väga efektiivset asimuudi- ja elevatsiooninurga muutust. Tagamaks parimat võimalikku satelliidi jälgimist, on käesoleva lõputöö raames konstrueeritud lisamoodul, mis võimaldab koos maajaama antennipööraja juhtseadmega antenni asimuudi- ja elevatsiooninurka samaaegselt muuta. Varasemalt on maajaamas olnud võimalik korraga mõlemat antenni telge pöörata kasutades selleks ainult antennipööraja juhtseadme esipaneeli klahvistikku. Läbi jadaliidese pole see võimalik olnud.

Lõputöö esimeses peatükis antakse ülevaade Tartu Observatooriumi satelliitside maajaamas kasutatavast antennipööramissüsteemist, mis koosneb 3-meetrisest paraboolantennist, antennipöörast ning juhtseadme. Välja tuuakse ka antennipööramissüsteemi olulisim puudus, milleks on võimetus muuta antenni asimuudi- ja elevatsiooninurka samaaegselt, tehes seda läbi jadaliidesega ühendatud arvuti.

Teises peatükis on kirjeldatud lõputöö käigus loodavat lisamoodulit, selle funktsioone ning eesmärki. Välja on toodud olulisemad komponendid ja nende ülesanded ning on selgitatud, kuidas autor lisamooduli konstrueeris ning antennipööramissüsteemi juhtseadmesse monteeris.

Kolmandas peatükis saab ülevaate lisamooduli jaoks loodud tarkvarast ning on kirjeldatud tähtsamaid tarkvarakomponente ja nende ülesandeid.

Neljas peatükk koosneb lisamooduli funktsionaalsuse ning kasulikkuse testimisest. Oluline oli läbi testide välja selgitada, kas lisamoodul on parandanud antenni asimuudi- ja elevatsiooninurga viga satelliidi suhtes.

Tartu Observatooriumi satelliitside maajaam on tänu lisamooduli kasutuselevõtule muutunud palju efektiivsemaks ning antenni asendiviga satelliidi suhtes on oluliselt vähenenud. Lisamoodul on olnud töös juba ligi kolm kuud. Selle aja jooksul on testitud satelliit ESTCube-1 jälgimist antenniga (nii ilma kui ka koos lisamooduliga). Testimise käigus on tulemused logitud ning logiandmeid omavahel võrreldud ja nende põhjal koostatud graafikud. Testimiste tulemustest võib järeldada, et lisamoodul täidab oma eeldatud funktsioone ning võimaldab antenni asimuudi- ja elevatsiooninurka muuta samaaegselt vähendades seetõttu satelliidi suhtes tekkinud asimuudi- ja elevatsiooninurga viga. Asimuudiviga pole võimalik satelliidi väga kõrge elevatsiooninurgaga ($>80^\circ$) ülennu puhul täielikult kaotada, kuna antennipööraja ei ole võimeline antenni piisavalt kiiresti satelliidi suunas pöörama. Lisaks on ka täheldatud, et alates lisamooduli kasutuselevõtust on satelliidilt tulevate andmepaketide kadu muutunud märgatavalt väiksemaks.

Tulevikus on plaan antennipööramissüsteemi juhtseadme mikrokontrolleri asendada uuega ning koos selle lõputöö raames valminud lisamooduli ning tarkvaraga luua täiesti uus töötav juhtseade. Loodud lisamoodulit ja tarkvara on võimalik kasutada ka universaalse antennipööraja juhtseadme arendamises.

M. Allik. *Tartu observatooriumi satelliitside maajaama antennipööraja kohandamine madalaorbiidiliste satelliitide jälgimiseks:* lõputöö, juhendaja Viljo Allik (MSc). Eesti Lennuakadeemia, Tartu 2014.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 13 allikat.

SUMMARY

REDESIGN OF THE ANTENNA POINTING CONTROLLER AT TARTU OBSERVATORY SATELLITE COMMUNICATIONS GROUND STATION

Keywords: antenna pointing controller, azimuth, elevation, ESTCube-1, satellite communication, Tartu Observatory

The purpose of this graduation thesis is to improve the Tartu Observatory satellite communications ground station by redesigning the antenna pointing controller. The objective is to develop an additional module for the antenna pointing controller that enables it to simultaneously change the azimuth and the elevation angles of the antenna. In its original state it has been possible to change the azimuth and the elevation angles of the antenna separately. While

the controller has ordered any azimuth change the antenna elevation could not be changed until the azimuth control operation was completed and vice versa.

For satellites on low Earth orbit such as ESTCube-1, it is essential to be able to change antenna azimuth and elevation fast enough to track the position of the relatively fast moving satellite. In order to improve satellite tracking, a module was designed, built and integrated with the antenna pointing controller to enable the user to change the antenna's azimuth and elevation angles at the same time. When it was discovered that it is possible to change the azimuth and elevation simultaneously by pushing the keypad buttons on the controller, the module was designed to simulate manual control of the antenna position.

Chapter 1 gives an overview of the original antenna pointing system at Tartu Observatory, how it works and what the main problems were.

Chapter 2 lists the requirements for the module, the interfaces between the module and the controller and the location of the module. This chapter also gives an overview of all of the components that are being used and how it was assembled and integrated with the controller.

Chapter 3 describes the software development process, all the important software components that were developed and their main functions.

Chapter 4 consists of testing, both functionality of the module and testing whether its main purpose was fulfilled. Test results are compared and demonstrated graphically.

Designing, building and developing the software, and the writing process took four months. The module was ready and working two months after the development started and is still working at present.

LENNUNDUSSIDE ÕPPEMATERJALIDE TÄIENDAMINE

PRIIT KARU

Juhendaja Nele Andresen

Märksõnad: Eurocontroli nõuded, õppekava analüüs, ülevaade lennundussidest, õhk-maa-õhk raadioside, telefonside

Euroopa lennundus on tõusuteel: kui praegu tegeleb regiooni lennujuhtimis-süsteem umbes 26 000 lennuga päevas, siis prognoosid näitavad selle arvu kahekordistumist aastaks 2020. Kiire lendude arvu tõusuga toime tulemiseks on käivitatud Ühtse Euroopa Taeva initsiatiiv, mis peab suurendama Euroopa lennuliikluse korraldamise valmisolekut senisest suurema töömahuga toimetulekuks. Meetmete keskmeks on õhuruumi ümberjagamine ning tehnilised uuendused, mis viivad senisest ühtsema ja ühendatuma lennuliikluse korraldamiseni. Olukorras, kus lennuliikluse korraldamine on läbimas tehnilisi uuendusi, kerkivad koolitusorganisatsioonides üles spetsialistide väljaõppe aja- ja asjakohasuse küsimused ning seetõttu on vaja õppekavad üle vaadata.

Lõputöö esimeses peatükis analüüsiti Eesti Lennuakadeemia lennunduse side- ja navigatsioonisüsteemide käitamise eriala õppekava vastavust Eurocontroli spetsifikatsiooniga lennunduse insener-tehnilise personali ühise tuumiksisi algväljaõppe kohta.

Analüüsist järeldus, et lennuakadeemia lennunduse side- ja navigatsioonisüsteemide käitamise õppekavas ei käsitleta kõiki teemasid, mis on Eurocontroli spetsifikatsioonis nõutud ning seetõttu vajab õppekava täiendamist. Töö autor tegi analüüsi põhjal ettepaneku tuua lennunduse side- ja navigatsioonisüsteemide käitamise eriala õppekavasse uus õppeaine. Aines oleks käsitletud kõik seni õppekavast puuduvad või puudulikult käsitletud lennundusside teemad ning ühtlasi seostaks loodav aine teistes ainetes õpitud infotehnoloogia- ning sidealased teadmised lennundussidega.

Töö ülejäänud peatükkide näol koostati lennundusside kõneside õppematerjal eelnimetatud aine tarvis.

Teises peatükis tegi autor sissejuhatuse lennundussidesse, andis ülevaate kõnesidesüsteemide ülesehitusest, lennujuhi tööpositsioonist, pea- ja varu-süsteemide vahelisest lülitamisest ja salvestamisest.

Kolmandas peatükis käsitleti õhk-maa-õhk raadiosidet: anti ülevaade Euroopa ATS raadiosidevõrgust, vajadusest GRS adresseerimise järele, VoIPist ja raadiosidest ülikõrgsagedusalas.

Neljas peatükk käsitles telefonsidet: anti ülevaade Euroopa ATS telefonsidevõrgust, AGVN numeratsiooniplaanist, loetleti analoogsignaliseerimise tüüpe, analoog- ja digitaalliidestest ja -signaliseerimisprotokollidest.

P. Karu. *Lennundusside õppematerjalide täiendamine:* lõputöö, juhendaja Nele Andresen. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2014.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 33 allikat.

SUMMARY

IMPROVING THE STUDY MATERIALS FOR AERONAUTICAL COMMUNICATION

Keywords: Eurocontrol specifications for ATSEP CCC IT, analysis of curriculum, overview of aviation communication, air-ground radio communication, ground-ground telephone communication

The main objective of this thesis was to find out topics in the field of aeronautical communication, which are not covered by the CNS curriculum, but are mandatory by the ATEP CCC IT specification. Based on this analysis, the author came up with proposals on how to make the curriculum meet the requirements. The second part of this thesis comprises appropriate study materials for the future CNS students.

The first chapter includes the background of the Eurocontrol requirements and the comparative analysis of the requirements and the current curriculum. The following chapters contain the study materials composed based on the analysis.

The main conclusion of the first chapter and this whole thesis is that the EAVA CNS curriculum needs improvement in several topics regarding aeronautical communication. Based on that conclusion the author makes a proposal for a new subject to be implemented in the curriculum, which would cover all of the missing topics and also bind together all the communication related knowledge in the curriculum to form a systematic overview of aeronautical communication.

The study material focuses on aeronautical voice communication and gives an insight into air-ground radio communication and ground-ground telephone communication. The author finds this study material appropriate for use by students but proposes a further development of this work and some others (mentioned in the thesis) to create an integral study material for all types of aeronautical communication. To encourage further development of this material, the author has included a CD with source files of this thesis and the materials used.

ÕHUSÕIDUKI JUHTIMINE

SAATEKS

Piloodikoolitus on maailmas aastakümneid olnud pealtnäha samasugune, kuid tegelikkuses ollakse pidevas muutumises. Kuigi füüsikaseadused kehtivad endiselt, on muutunud paljud arusaamad, koolitusmetoodika ja koolituseks kasutatavad tehnilised vahendid ning võimalused. Vaadates lennukoolitusosakonna tegemisi, siis on näha samasugust konservatiivset, kuid pidevat arengut nagu maailma lennunduses loetakse heaks tavaks. Kõige suuremaks saavutuseks aastate jooksul võib lugeda seda, et tänasel päeval moodustavad enamiku lennukoolitusosakonna õppejõududest meie enda vilistlased. See on mõneti märgilise tähendusega, et üks ring on täis saanud, ja sama trendi on võimalik märgata Eesti lennunduses tervikuna – Eesti Lennuakadeemia lõpetanud ei ole pelgalt enam head lennundusspetsialistid, vaid on asunud ka juhtivatele ametikohtadele või uusi kolleege koolitama.

Tänaseks on Eestis rakendunud Euroopa Komisjoni määrus 1178/2011, mis tingis viimase aasta jooksul terve rea muudatusi piloodikoolituse korraldamises. Lisaks pani nimetatud määruse rakendamine proovile nii lennukoolitusosakonna kui Lennuameti administratiivse suutlikkuse. Muuhulgas tuli üle vaadata ka kopteripilootide koolitusprotsess. Loodetavasti on kõike planeeritud võimalik rakendada ning mõne aasta pärast on kooli lõpetavate kopteripilootide tase teinud märgatava sammu edasi ning vastab igati tööturu ootustele.

Tööandja ootused on tänapäeval kõrged – seda, et äsja kooli lõpetanud piloodi piloteerimistehnika ja teoreetilised teadmised on väga heal tasemel, peetakse iseenesest mõistetavaks. Lisaks oodatakse ka palju muud ja väga palju sõltuvad ootused tööandja lennutegevuse iseloomust. Eesti lennunduse ja lennuettevõtjate väiksus tingib selle, et paljud piloodid peavad varem või hiljem tegema mingil määral ka nn kontoritööd. See eeldab, et piloodil on võime analüüsida ja lahendada probleeme ning oskused see korrektselt vormistatuna kirja panna – väga tihti tuleb seda teha inglise keeles. Koolitusprotsessis kasutame me nende oskuste arendamiseks küll ka erinevate projektide, referaatide, esseeide jne kirjutamist, kuid kõige olulisemaks on piloodiõpilaste puhul uurimistöö kirjutamine ja kaitsmine.

Käesoleva aasta kevadel kaitsstud uurimistööde temaatika oli väga lai – puudutati nii õhusõiduki ehitust, keskkonnakaitset, lennundusjulgestust jne. Selline lai teemade ring näitab ühest küljest Eesti lennunduse tugevust ja võimekust, et on olemas juhendajad ja teadmised uurimaks väga erinevaid probleeme. Teisalt loob mitmekesine temaatika lisaväärtust koolitusele, kuna

üliõpilaste teadmised ja silmaring laienevad kursusekaaslaste uurimistöid lugedes ja kaitsmisi kuulates.

Selle aasta uurimistööde tase valmistab kindlasti heameelt, kuid põhjust liigseks rahuloluks kindlasti veel ei ole. Alati on üliõpilastel võimalik teha oma tööd paremini, kuid oma roll on ka osakonnal – loodetavasti õnnestub lähiajal muuta õppekava selliselt, et uurimistööde asemel teeksid üliõpilased lõputöid. See muutus annaks suurema panuse Eesti lennundusele nii läbi lõputööde rakendusliku külje kui ka tugevama akadeemilise taustaga lennundus-spetsialistide näol. Üliõpilaste hakkama saamise pärast pole vaja muretseda – siis oleks latt sellisel kõrgusel, et üle hüppamiseks tuleks natuke hoogu ka võtta.

Meelis Koovit

Õhusõiduki juhtimise eriala

EELROTAATORI VALIK ÜLIKERGAUTOŽIIROLE

KARL RATTASSEP

Juhendaja Peep Lauk

Märksõnad: autožiiri, gürokopter, eelrotaator, tiivikõhusõiduk, ülikergõhusõiduk

Sissejuhatus

Autožiiri ehk gürokopter on õhust raskem õhusõiduk, kus tõstejõud tekib vabalt pöörlevate rootorilabade ja atmosfääriõhu aerodünaamilise vastasmõju toimeel.

Antud uurimistöö käsitleb Eestis vähe levinud ja vaid eralennunduses kasutatust leidnud tiivikõhusõidukit – autožiirit. Kuna lennu ajal pole gürokopteri rootorilabad jõuallikaga ühendatud, siis helikopteriga võrreldes on autožiirode puuduseks suutmatus sooritada ripplendu ning vertikaalselt startida, kuid rootorit stardieelselt pöörlema paneva mehhanismi abil on võimalik hoojooksu sooritusvõimet parandada. Töö eesmärgiks on välja selgitada, millist mehhanismi ehk eelrotaatorit on mõistlik ülikergautožiirile paigaldada, saavutamaks stardil head sooritusvõimet. Eesmärgi saavutamiseks viis autor oma ala spetsialistide seas läbi intervjuusid ning tegi saadud vastuste põhjal järeldusi. Lisaks võttis autor aluseks ühe olemasoleva ülikergautožiiri konstruktsiooni ja teostas selle parameetrite põhjal näidisarvutuse, kus leidis eelrotaatorile vajamineva pöörlemissageduse, väändemomendi ja võimsuse.

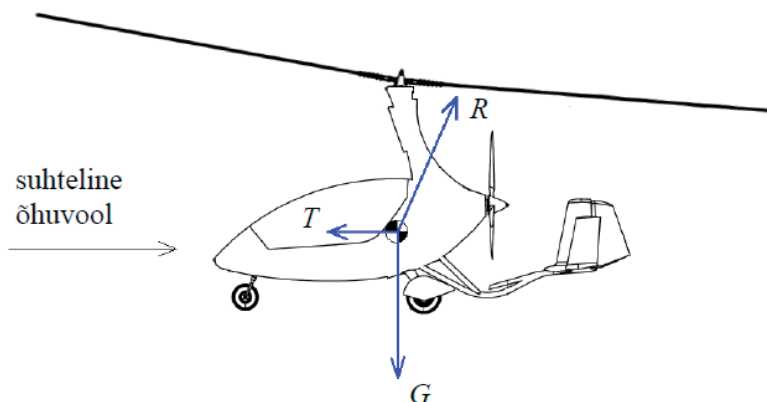
Uurimistöö koosneb kolmest peatükist, kus esimeses kahes antakse ülevaade autožiiride ajaloost, nende kasutusest, seonduvast seadusandlusest ja lendamise põhimõtetest, ning viimane keskendub peamiselt töös püstitatud eesmärgi saavutamisele.

Töö kirjutamise ajal kerkis esile mitmeid probleeme, millest peamine on eestikeelse kirjanduse ja terminoloogia puudumine. Mitmes uurimistöö alajaotuses võib leida autori pakutud eestikeelseid vasteid, mille järel sulgudes on ingliskeelne kasutusel olev termin, nt ingliskeelsele „*prerotator*“ on autor pakkunud vasteks „eelrotaator“.

Sisu ja tulemused

Esimeses peatükis annab autor ülevaate autožiirode ajaloost, nende arengust, kasutusalaadest ning tutvustab põgusalt seadusandlust. Esimene jäädvustatud edukas lend autožiiril toimus 1923. a Hispaanias Juan de la Cierva konstrueeritud autožiiril C.4, misjärel liikus peamine arendustegevus USA-sse, kus täiustatud autožiiri rootorisüsteemi hakati kasutama ka helikopteritel.

Teine peatükk kirjeldab gürokopteri lendamise põhimõtteid. Nagu enamikule õhusõidukitele, mõjub ka autožiirole lennu ajal kolm jõudu: raskusjõud, tõmme ning aerodünaamiline kogujõud (Joonis 1).



Joonis 1. Autožiirole horisontaallennul mõjuvad jõud (autori joonis)

Aerodünaamilise kogujõu vertikaalne komponent ehk tõstejõud tekib tänu vabalt pöörlevale rootorile, mis vastasmõjul õhuvooluga pöörleb konstantse kiirusega ehk tervikuna autorotatsioonirežiimis.

Kolmas peatükk algab erinevate eelrotaatorite tööpõhimõtete kirjeldamisega. Eelrotatsiooni saab teostada nelja tüüpi seadme abil:

1. mehaaniline eelrotaator, kus mootori vāntvõllilt saadud vāāndemoment antakse jäiga vōlli vōi ülekandetrossi abil edasi rootorile;
2. hüdrauliline eelrotaator, kus jõuallika poolt ringiaetavas hüdropumbas tekitatakse süsteemi vajalik rõhk ning mastis oleva hüdmootori abil aetakse rootorilabasi ringi;

3. elektriline eelrotaator, kus rootor pannakse pöörlema mastis oleva elektrimootori abil;
4. eelrotatsiooni on võimalik teostada ka väikeste rootorilabade otstes olevate raketide abil.

Leidmaks kõige mõistlikumat lahendust ülikergautožirole eelrotaatorina, viis uurimistöö autor viie riigi spetsialistide seas meili teel, telefoni teel ning ka isikliku vestlusena läbi intervjuusid, millest selgus, et parimaks peetakse ülekandetrossiga mehaanilist eelrotaatorit. Lisaks pidas töö autor oluliseks analüüsida ühe konkreetse ülikergautožirole andmete põhjal, kui suure jõudlusega peaks eelrotaator olema. Aluseks võeti Jukka Tervämäki JT-5 ülikergautožirole, mille olulised andmed on järgmised:

- maksimaalne stardimass: $m = 280$ kg;
- rootorilaba profiil: NACA 8-H-12;
- laba kõõl: $d = 0,18$ m;
- labade geomeetiline kohtumisnurk: $\alpha = 1,5^\circ$;
- profiili omav laba pikkuste (oluline rootori raadiuste) vahemik: $r_{tüvi} = 0,39$ m kuni $r_{tip} = 3,5$ m;
- normaalne rootori pöörlemissagedus lennul: $f_r = 380$ rpm.

Kasutades programme Xfoil 6.99, Logger Pro 3.8.4 ja kõrgemat matemaatikat, leidis autor suurima rootori pöörlemissageduse eelrotatsioonil:

$$\begin{aligned}
 mg &= \lim_{\lambda \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n 2 \cdot L_i = \int_{r_{tüvi}}^{r_{tip}} 2 \cdot C_L \frac{\rho v^2}{2} S = \int_{r_{tüvi}}^{r_{tip}} \left[C_L \cdot \rho \cdot \left(\frac{\pi \cdot f_r \cdot r}{30} \right)^2 \cdot d \cdot r \right] dr = \\
 &= \frac{C_L \cdot \rho \cdot \pi^2 \cdot f_r^2 \cdot d}{900} \cdot \left(\frac{r^4}{4} \right) \Bigg|_{r_{tüvi}}^{r_{tip}} = \frac{C_L \cdot \rho \cdot \pi^2 \cdot f_r^2 \cdot d \cdot (r_{tip}^4 - r_{tüvi}^4)}{3600} \Rightarrow \\
 \Rightarrow f_r &= \sqrt{\frac{3600 \cdot m \cdot g}{C_L \cdot \rho \cdot \pi^2 \cdot d \cdot (r_{tip}^4 - r_{tüvi}^4)}} = \sqrt{\frac{3600 \cdot 280 \cdot 9,81}{0,3899 \cdot 1,225 \cdot \pi^2 \cdot 0,18 \cdot (3,5^4 - 0,39^4)}} \approx \\
 &\approx 279 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Sellele vastavalt peaksid eelrotaatori parameetrid olema järgmised:

- pöörlemissagedus $f_{er} = 2232$ rpm;
- väändemoment $M_{er} = 16,3$ Nm;

- võimsus $N_{er} = 3,8$ kW.

Kui võrrelda saadud tulemust ühe intervjueeritava, Dave Organi modifikatsiooniga enda gürokopteril, kus trossülekandega mehaaniline eelrotaator pöörleb teoreetiliselt kiirusega kuni 4296 rpm, siis võib järeldada, et trossiga eelrotaator on igati sobilik ülikergautožirole.

Kokkuvõte

Intervjuu tulemuste ja näidisarvutuse põhjal saab väita, et sobivaim mehhanism eelrotaatorina on rihmsiduri ja ülekanDETROSSIGA mehaaniline eelrotaator, mis on lihtsa ehitusega ning küllalt efektiivne, saavutamaks vajalikku rootori pöörlemissagedust. Sellega sai uurimistöö eesmärk täidetud. Autor usub, et piisava hulga rahaliste vahenditega on ülikergautožiiro sooritusvõimet võimalik veelgi parandada.

K. Rattasep. *Eelrotaatori valik ülikergautožirole*: uurimistöö, juhendaja Peep Lauk. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2014.

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 30 allikat.

SUMMARY

SELECTION OF PREROTATOR FOR AN ULTRALIGHT GYROPLANE

Keywords: autogyro, gyroplane, prerotator, rotorcraft, ultralight aircraft

The present research paper focuses on gyroplanes, which are not so popular rotorcraft in Estonia. They are at a disadvantage compared with helicopters due to their inability to hover and take off vertically. The aim of this paper is to determine which type of prerotator is the most reasonable to use on an ultralight gyroplane in order to shorten the take-off distance. The purpose of the paper is achieved by making calculations and conducting several interviews with specialists from different countries.

The research paper consists of three chapters. The first chapter gives a brief overview of gyroplanes' history and their utilization. It also covers some of the Estonian legislation on ultralight aircraft.

The second chapter describes the aerodynamics of gyroplanes. This is quite unique, as no information concerning gyroplanes' aerodynamics has been published in the Estonian language before.

The third chapter starts with an overview of different types of prerotators, which are blade tip jets and mechanical, electric and hydraulic prerotator. The description is followed by the results of interviews. The chapter ends with a long calculation of requirements for a sample prerotator.

In conclusion, the purpose of this research paper was achieved. According to the results of calculations and interviews, the best type of prerotator is mechanical with flex cable and friction belt drive.

LENNUNDUSETTEVÕTTE KÄITAMINE

SAATEKS

Käesoleva õppeaasta sügisest käivitus uus parendatud õppekava lennundusettevõtte käitamise erialal. Olulisemateks muudatusteks olid majandusainete sidususe parandamine ja erinevate õppemahtude tasakaalustamine. Näiteks vähendati majanduse üldteooria mahtu ja suurendati ettevõtlusõpet. Selleks, et parandada tudengite võimalusi õppimiseks välismaal, suurendati kõigis osakonna hallatavates õppekavades vabalt valitavate õppeainete mahtu, et VÕTA-metoodikat rakendades oleks võimalik võimalikult palju välismaal sooritatud aineid üle kanda. Selline muudatus võimaldab tudengitel paremini õppekava täita ja vähendab õppimist üle nominaalaja. Õppekavade arenduses viidi sisse põhimõtteline otsus, et kõigil Eesti Lennuakadeemias õpetatavatel erialadel on kaks majandusmooduli alusainet kohustuslikud – Majandusteaduse alused ja Ettevõtluse alused. Selline muudatus annab kõigile tudengitele vajalikud algteadmised majanduse ja ettevõtluse valdkonnas, kujundab ettevõtluse alustamiseks positiivseid hoiakuid ning võimaldab tudengitel vabaainena valida kõiki teisi majandusaineid, mis nende õppekavas kohustuslikud ei ole, sest vajalikud alusteadmised on omandatud.

Majandusmooduli arendamisel on seatud põhiliseks eesmärgiks tihendada erinevate ainete omavahelist sidusust ja arendada tudengite praktilisi oskusi lahendamaks reaalseid töökeskkonnas esinevaid probleeme ja olukordi. Osakond kasutab õppetöö läbiviimisel akadeemia vilistlasi ja lennunduseriala tippspetsialiste rakendades neid erinevates ainetes külalislektoritena. Selliselt saavutatakse parim side teooria ja praktika koostoimimiseks ning teadmiste kinnistumiseks.

Lähitulevikus on kavas üle vaadata praktikate süsteem ja teostatavus. Eesmärk on muuta praktikad sisutihedamaks ja siduda konkreetsete praktikad kindlate õppeainete ja konkreetsete tegelike oskuste omandamisega. Lisaks soovime pakkuda akadeemia tudengitele rohkem vabaaineid, et nende silmaringi avardada. Näiteks loodi kevadsemestril uus vabaaine Töö-ökonomika ja tööturg, mis täiendab tudengite majandusalaseid teadmisi tootmise planeerimise ja efektiivsuse tõstmise valdkonnas.

2014. aastal kaitstud osakonna lõputööd käsitlesid järgmisi teemasid:

- uute tehnoloogiate rakendamine lennundusettevõtte käitamisel, nagu näiteks paberivaba kokpit, elektroonilise siseauditi süsteemi rakendamine,
- erinevad analüüsid ja tasuvusuuringud, nagu näiteks lennujaama tasuvuse uuring, automaatteeninduse süsteemi teostatavuse uuring, keskkonnajuhtimise süsteemi parandamine AS Tallinna Lennujaam näitel,
- vastutustundlik ettevõtlus lennunduses,
- riskide maandamine lennunduses läbi kindlustuse.

Lennundustegevuse korralduse osakond osaleb aktiivselt Eesti Lennuakadeemias õpetatavate erialade populariseerimisel. Selleks koostati gümnaasiumite tarbeks erinevad pilootloengud: „Kuidas saada miljonäriks?“ ja „Kuidas olla efektiivne?“. Loenguid on läbi viidud viies erinevas gümnaasiumis üle Eesti. Tulevikus on plaanis gümnaasiumite külastusi oluliselt suurendada ja pakkuda neile ka pikemaid loengukursusi. Kursuste laiem eesmärk on süvendada õpilaste majanduslikku mõtlemist ning suurendada nende teadmisi ja oskusi, mida nad vajavad oma ideede edukaks teostamiseks.

Priit Pajuste

Lennundusettevõtte käitamise osakonna juhataja

LENNUANDMETE MONITOORINGU VÕIMALUSED AS-S PANAVIATIC

HELLIKA JÄRVALA

Juhendaja Priit Pajuste (MSc), konsultant Kristi Seppa (MSc)

Märksõnad: FDM, lennuohutus, lennuandmete monitooring

Sissejuhatus

Lennuandmete monitooring on igapäevases lennutegevuses saadud digitaalsete lennuandmete kasutamine lennuohutuselaseks ennetustööks ja lennuohutuse parandamiseks. Lennuandmete monitooringu programmi eesmärk ei ole kedagi karistada ning sellel peab olema piisavalt andmeallikate kaitsevahendeid.

Lennuandmete monitooring on kohustuslik lennukitele, mis kaaluvad vähemalt 27 000 kilogrammi.

ICAO soovitab FDMi (*Flight Data Monitoring*) kasutusele võttu lennukitele maksimumkaaluga üle 20 tonni ning samuti helikopteritele kaaluga üle 7 tonni.

Ärilenunduses ei ole FDM üldiselt kohustuslik, kuna lennukite kaalud 27 tonnini enamasti ei ulatu. Küll aga on mitmed väikelennukeid opereerivad ettevõtted võtnud FDMi kasutusse, et saada ligipääsu erinevatele lennuparameetritele, neid analüüsida ning seeläbi suurendada lendude turvalisust, sealhulgas ka ettevõtte mainet. Lisaks aitab programm kaasa üleüldisele lennuohutusele – piloot saab ise tagasisidet oma lennule ja seeläbi saab kas kinnitust heast sooritusest või saab teada, kui miski vajab parandamist.

Lõputöö eesmärgiks on uurida lennuandmete monitooringu (FDM) pakkujaid ja maksumust ning nende rakendamise võimalusi AS-s Panaviatic.

Sisu ja tulemused

Kasvamas on trend, et lennuandmeid kogutakse igalt lennult, mitte ainult valitutel, mis rohkem kasu toovad. See tagab, et monitooring on mitmekülgne ja annab võimalikult adekvaatse info.

Näidismõõtmised: stardimass, klappide asend, kiirus ja kõrgus, temperatuur, pöörlemis- ja õhkutõusukiirus võrreldes planeeritud kiirustega, teliku sissetõmbamise ja väljumise kiirus, kõrgused ja ajad, maksimaalne normaalne kiirendus maandumisel, maandumisvahemaa, maksimaalne pidurite kasutus.

Näidisanalüüsid: piloteerimistehnika hea ja halva lennuilma korral, maandumise distantsid lühikesel ja pikal lennurajal.

Monitooringu eelised ja puudused

Eelised	Puudused
Aitab suurendada lennuohutust	Lisastress piloodile
Parem ülevaade tööst	Võib tekitada probleeme kaastöötajate vahel
Aitab identifitseerida potentsiaalseid riske	Annab võimaluse infot vääralt ära kasutada
Võimaldab teha parendusi ettevõtte opereerimisprotseduurides	Säästlik vs mugav
Aitab vähendada plaaniväliste hoolduste vajadust	Vanemate lennukitüüpide puhul ei pruugi seadmed ühilduda
Informatsiooni jagamise võimalus teiste ettevõtetega	Kui andurid pole seadmetele sisse ehitatud, vajavad lisaühendusi juhtmetega
Võimalik vähendada ACARS-teateid	Väikese lennukipargi puhul soetusmaksumused kõrged
Väheneb sõltuvus lennuandmete pardasalvestitest	Hakatakse liigselt seadet usaldama
Võimaldab kontrollida kinnipidamist mürapiirangutest	
Võimaldab uurida ja jälgida kiirguse avaldumist	
Aitab ennetada lennuõnnetusi ja intsidente	
Aitab vähendada materiaalseid kulusid ja kindlustusmakseid, suurendada usaldust reisijate seas	

Tabel 1. FDM eelised ja puudused

ASi Panaviatic Learjet 60 ja 60 XR tüüpi lennukitel on L-3 FA2100 tüüpi CVDRid, et võimaldada õnnetusjuhtumi korral info kättesaamine. FA2100 on *solid-state* kokpiti hääle ja lennuinformatsiooni salvestamiseks loodud seade kaaluga 4,49 kg, maksimaalse salvestamismahuga 25 tundi, misjärel hakatakse informatsiooni üle salvestama. Seadmetel puuduvad USB liidesed ning ei ole mõttekas hakata organiseerima vahelülisid, et informatsiooni mugavamalt kättesaadavaks teha ka ettevõtte igapäevase tegevuse toetamiseks, mitte ainult õnnetusjuhtumite uurimisel. Kuigi kindlustusmakse hinda aitab FDM-seade vähendada, ei ole see siiski sellisel viisil seda väärt, kuna kogu süsteemi ümbervahetus ja lisaseadmete soetamine kujuneks kallimaks, kui praegu makstav kindlustus. Seda enam, et lennukid on vanad ning amortisatsioonikulu annab pigem alust, et hakata mõtlema uutele lennukitele, millel juba on FDM-seade ning mille puhul tuleb juurde hankida ainult tarkvara või teenusepakkuja.

FDM-seadet valides peab arvestama CVDR-seadmega, mis lennukil juba algselt peal on, kuna kahe seadme omavaheline sobitumine on oluline, mistõttu kõik ettevõtted ei pruugi olla sobivad seadme soetamiseks.

Learjet 31A tüüpi lennukil on kasutusel L-3 FA1000 tüüpi lennuinformatsiooni salvestaja, mis on teistel lennukitüüpidel kasutatavast FA2100 tüüpi salvestajast vanem. Kuigi seadmega ei ole probleeme siiani esinenud, on see siiski piisavalt vana ning ei ühti enam tänapäevase tehnikaga. Selleks, et antud lennukile võimaldada FDM-seadme olemasolu, on vajalik FA1000 salvestaja uuendada või täielikult välja vahetada, mis aga nõuab lisainvesteeringut hinnaga üle 25 000 €.

Lõputöö autor võttis ühendust erinevate FDM-teenuse ja -seadmete pakkujatega, et saada selgust turul toimuvast, hinnaklassidest ning teenuste erinevustest.

Seadmed	1 lennuk	5 lennukit	31A	Ühe- kordne	Tark- vara	Täis- pakett
L-3	3600€	18 000€	28 600€			
Vision1000	8500€	42 500€	33 500€			
Tarkvara						
Aerobytes	491€	1571€	270€ (+221€)	2700€		+
Swiss49	325€	1625€	1625€			+

Appareo				3660€	+	
Pakett						
Appareo	13 500 €	22 000€	29 000€	13 500 €	+	
L3+ Aerobytes	10 415 €	52 075€	35 415 €			+

Tabel 2. Koondtabel: hinnad ja pakkumised

Eelnevas tabelis (tabel 2) on ära toodud pakkujate hinnad ühele ning viiele lennukile ning lisaks riistvara juures 31A tüüpi lennukile lisatud 25 000 eurot, samuti paketihindade juures. Seadmete pakkujana on tabelist välja jäetud Aviatech, kuna selle riistvara pakkuja toodang ei ole sobiv AS Panaviatic lennukitüüpidele.

Riistvara soetamine on saadud hindade põhjal mõttekam ettevõttelt L-3, kuna soetamishind on ligilähedaselt kolm korda soodsam kui Appareo seadmel Vision 1000.

Kuigi tarkvara pakkujate seast on soodsaima hinnaga ühe lennuki kohta Swiss 49 kuu kohta ja antud ettevõtte pakub täisteenust, on Appareo pakkumine suurusjärgus 3660 eurot lennuki kohta kokkuvõttes soodsam. Kuna aastas läheks Swiss49 teenuse kasutamise peale ühe lennuki kohta 3900 eurot, jättes praegusel juhul arvestamata töötaja palga, kes süsteemi andmeid haldab ja analüüsib. Aerobytes on küll kallima hinnaga ühe lennuki kohta kui seda on Swiss 49, kuid viie lennuki FDM-tarkvara haldamine ja analüüsimine on soodsam kui Swiss49 pakutavas variandis. Samas aga nõuab Aerobytes ka esmasel soetamisel ühekordset tasu 2700 eurot, et tarkvara alla laadida ja teha muid vajalikke toiminguid.

Paketipõhiselt pakub soodsamat varianti Appareo. Kuigi ühe lennuki kohta on ettevõtte pakkumine kallim kui seda on Aerobytesi ja L-3 koostööl põhinev hind, kuid viie ja kuue lennuki puhul on Appareo pakkumine oluliselt soodsam.

Kokkuvõte

FDMi on peetud kalliks, mistõttu ta pole olnud populaarne väikelennukitega opereerivate ettevõtete seas, kuna see on kohustuslik lennukitele alates maksimumkaalust 27 000 kg. Ohutust ei tohiks pidada prioriteediks, kuna prioriteete on lihtne muuta, kui maailm meie ümber muutub. Ohutus peaks olema iga ärilennundusega tegeleva ettevõtte põhiväärtus, mitte ainult prioriteet.

FDM võimaldab saada erinevat informatsiooni, et parendada oma ettevõtte tegevust. Tänapäeva programmid võimaldavad lende ja seda puudutavat informatsiooni järelevaadata sekundi täpsusega, olles seejuures võrdväärse kvaliteediga lennuõnnetuste uurimisel kasutatavate süsteemidega. Näiteks võimaldab süsteem mõõta stardimassi, klappide asendit, kiirust ja kõrgust, temperatuuri, maksimaalset pidurite kasutust jne. Analüüside tulemusena on võimalik näiteks saada informatsiooni piloteerimistehnika kohta hea ja halva lennuilma korral. FDMi soetamisest ja parameetrite mõõtmisest pole kasu, kui analüüse ja seejärel parendusi ei tehta.

Kuigi AS Panaviatic tegutseb vanemate lennukitüüpidega, on FDMi kasutuselevõtt otstarbekas, et aidata kaasa ohutuse suurendamisele. Vanemate lennukite puhul on vigade ja probleemide avastamine varasemas staadiumis kriitilisem kui uute lennukite puhul, kuna probleeme võib ette tulla tihedamini. Samas ei leia töö autor, et FDM-seade tuleks soetada kõigile lennukitele, kuna Learjet 31A praeguste seadmete uuendamine ning FDM-seadme paigaldamine läheks sellel lennukitüübil maksma kaks korda rohkem kui teistel ettevõtte lennukitel.

Arvestades, et lennukitel Learjet 60 ja 60XR on juba peal L-3 ettevõtte CVDR-seadmed, leiab töö autor, et mõttekas oleks kasutusele võtta ka L-3 FDM-seadmed ja Aerobytes tarkvara. Ettevõtted ei vaja lisasertifikaate, et antud lennukitüüpidele teenust osutada.

H. Järvala. *Lennuandmete monitooringu võimalused AS-s Panaviatic:* lõputöö, juhendaja Priit Pajuste (MSc), konsultant Kristi Seppa (MSc). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2014.

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 32 allikat.

SUMMARY

FLIGHT DATA MONITORING POSSIBILITIES: THE EXAMPLE OF PANAVIATIC AS

Keywords: FDM, flight data monitoring, flight safety

The purpose of this graduation thesis is to analyze the flight data monitoring (FDM) possibilities and its cost, proceeding from the example of Panaviatic AS.

The aviation community is under constant pressure to achieve safety improvement. Operational Flight Data Monitoring (OFDM) offers an efficient solution to this challenge. OFDM is to some extent a quality assurance process but it also has a vital Safety Management dimension. It involves the downloading and analysis of aircraft flight recorder data on a regular and routine basis.

This graduation thesis was developed on the basis of the analysis of the online information available and on interviews with experts. The expert opinion was drawn from both, the company's employees (who gave a survey of the equipment available), and from the employees of companies who are using FDM, in order to understand how FDM works, how it is used and what its benefits are. In addition, the author contacted various hardware and software companies to examine their cost, performance and suitability for Panaviatic AS.

The thesis consists of three chapters.

Chapter 1 gives an overview of FDM, the equipment, programs and the data stored. The author tries to explain the options for using FDM in aviation today, the product varieties offered by different companies and service providers.

Chapter 2 focuses on Panaviatic AS devices and possibilities for implementing the FDM, as well as on the company's ability to combine the necessary hardware and software for FDM.

Chapter 3 discusses the solutions, the cost of FDM hardware and software, as well as the advantages and disadvantages of FDM.

Based on the information obtained, the author finds that currently the most suitable hardware provider for Panaviatic AS is L-3, because the same

company also provides CVDR equipment for aircraft. Therefore, there can be no problem arising from mismatch between the devices. L-3 also complies with the company's certifications.

The author suggests that Aerobytes Ltd. be selected as a software supplier. In addition, the price of Aerobytes Ltd. software is more reasonable compared to the prices quoted by other service providers / software suppliers, moreover, it can also provide data collection and data analysis services.

Within the work done to develop this graduation thesis, the author has briefly presented the FDM system, its advantages and disadvantages, and made suggestions to the company.

TARTU LENNUJAAMA AUTOMAATINFOTEENINDUSE SÜSTEEMI TEOSTATAVUSE UURING

KERSTIN LIKK

Juhendaja Jaan Tamm (PhD), konsultant Juhan-Johhen Ross

Märksõnad: ATIS; lennuvälja automaatinfoteenindus, lennuohutus, automaatne ilmavaatlussüsteem

Sissejuhatus

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on anda põhjalik ülevaade automaatinfoteenindusest, selgitada automaatinfoteeninduse süsteemi rolli ja vajadust Tartu lennuväljal ning anda soovitusel süsteemi rakendamiseks. Teemavaliku aluseks on automaatinfoteeninduse paigaldamise aktuaalsus Tartu lennuväljal. Tööga püütakse automaatinfoteeninduse juurutamist selgemini formuleerida ja näidata, kuidas see sobitub ettevõtte jooksvate tegevuste ja eelarvega. Uurimistöö võimaldab selgitada, milline on tehnoloogia osa lennujaama tulemuste saavutamisel. Teostatavuse analüüsi koostamine võimaldab tagada ja parandada korralduslikku ning tehnoloogilist kompetentsust automaatinfoteeninduse juurutamiseks.

Uurimistöö peamiseks eesmärgiks on välja selgitada automaatinfoteeninduse teostatavus, tasuvus ja selle jätkusuutlikkus Tartu lennuväljal. Süsteemi kasutuselevõtuga väheneb lennujuhtide töökoormus, mis tagab kõrgema lennuohutuse taseme. Lennuohutuse seiskohalt on ATIS (*Automatic Terminal Information Service*, lennujaama automaatinfoteenindus) vajalik ka RNAV (*area navigation*, piirkondlik navigatsioon) protseduuri ohutuks läbiviimiseks. Automaatinfoteenindus parandab teenuse kvaliteeti Tartu lennujaamas ning on oluliseks lennuliikluse tihenemisel tulevikus.

Lõputöö jaguneb kolme ossa. Esimeses osas antakse lühiülevaade lennunduses kasutusel olevatest telekommunikatsiooni süsteemidest ja tutvustatakse Tartu lennujaamas olemasolevat automaatset ilmavaatlussüsteemi, mida on lihtne ühendada automaatinfoteenindusega. Põhjalikult on kirjeldatud automaatinfoteeninduse tehnilist koosseisu ja selle olemust.

Teine osa uurib automaatinfoteeninduse teostatavust Tartu lennuväljal, tuues välja peamised finantsnäitajad ja süsteemi jätkusuutlikkuse. Välja on toodud informatsiooni tehniline edastamise viis praeguses olukorras ja automaatinfoteeninduse olemasolul ning peamised tööjaotuse muudatused. Tasuvus-

analüüsist selgub süsteemi paigaldamise majanduslik tasuvus ja jätkusuutlikkus, ühtlasi tuuakse välja käitamisega seotud kulud ja võimalikud tulud. Tasuvusanalüüs on koostatud arvestades kahe süsteemi pakkuja eksperthinnanguid.

Uurimuse kolmandas osas annab autor omapoolsed nõuanded automaatinfoteeninduse rakendamiseks Tartu lennuväljal. Koostatud on üldine tegevuste kava ja orienteeruv ajaplaan tööde teostamiseks. Samuti on põhjalikult selgitatud raadiosagedusloa taotlemise korda ning tehtud autoripoolsed soovitusel ATISe soetamise hanke korraldamiseks.

Lõputöös kasutatud meetodika põhineb Tallinnas kasutusel oleva automaatinfoteeninduse süsteemi ja tarkvara uurimisel ning Tartu lennujaama jaoks parima lahenduse leidmisel süsteemi pakkujate eksperthinnangutel.

Lennuvälja automaatinfoteeninduse kasutuselevõtu vajadus Tartus

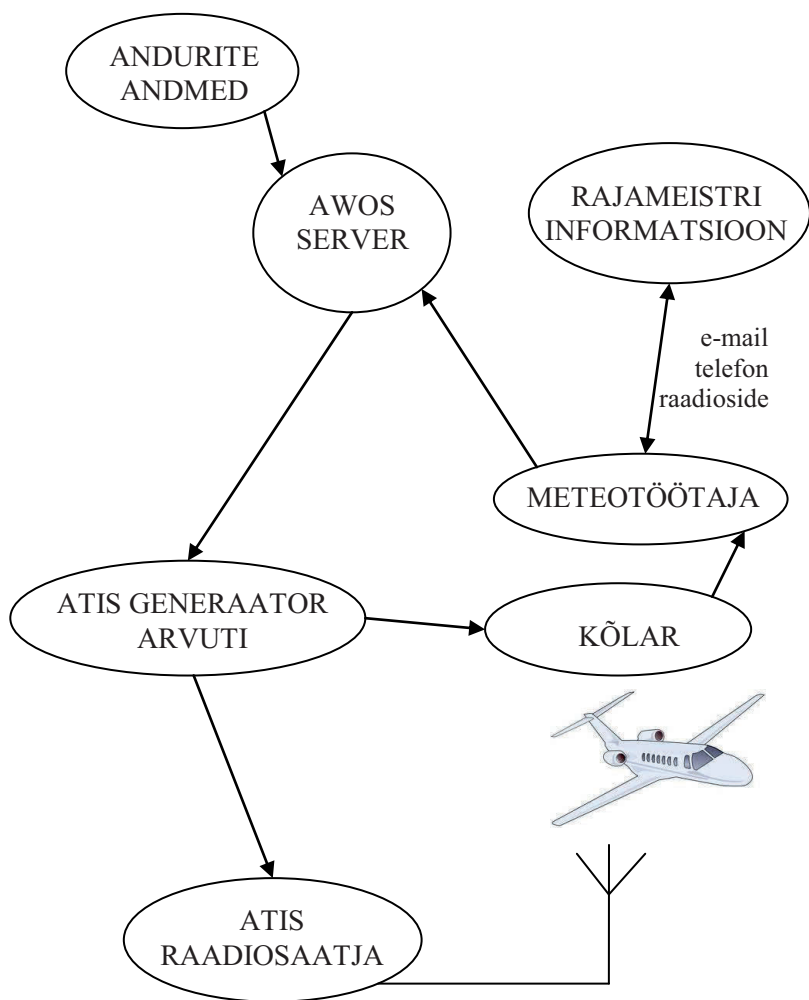
Tartu lennujaamas toimuvad rahvusvahelised regulaarliinilennud, Eesti Lennuakadeemia õhusõiduki juhtimise eriala õpilaste õppe- ja treeninglennud ning era- ja tellimuslennud. Lennuoperatsioonide arvult on Tartu lennujaam Eestis Tallinna lennujaama järel teisel kohal. Piloodid saaksid kuulata 24 tundi saadaval olevat uusimat meteoroloogilist informatsiooni regulaarselt uuendatud ATISe kindlal raadiosagedusel, mis aitab vähendada lennujuhtide töökoormust ja suurendab lennuohutust.

Lennuohutuse seisukohalt on Tartu lennujaama puhul ATIS oluline ka piirkondliku navigatsiooni (RNAV) protseduuri jaoks. RNAVi jaoks on ATIS oluline just väljaspool lennujuhtimisüksuse tööaega, mil piloodil ei ole võimalik lennujuhilt täpset õhurõhku (QNH – õhurõhk teisendatuna merepinna tasemele) küsida.

Samuti aitab ATISe kasutuselevõtt muuta Tartu lennuvälja atraktiivsemaks uutele lennuettevõtetele, kasutades kaasaegset tehnoloogiat. Eesti Lennuakadeemia üliõpilastele annab teadete kuulamine võimaluse harjuda tulevikus igapäevaselt oma töös kasutatavate ATIS- teadetega.

Tartu lennujaamas kasutusel olev automaatne ilmavaatlussüsteem AWOS7 saab uue olukorra puhul oma andmed endiselt automaatselt lennuväljal paiknevatest anduritest (joonis 1). Meteotöötaja teeb vajadusel oma parandused ja seejärel antakse välja METAR-teade igal tunni 50ndal minutil. ATISe kasutuselevõttuga ei ole praeguse lennuliikluse tiheduse korral otstarbekas muuta ilma edastuse

intervalli. ATIS-e saab reguleerida vastavalt Tartu lennuvälja olukorrale ehk 50 minuti andmete edastusele. Infoteeninduse süsteemi kaudu informatsiooni edastamisel kanduvad meteoroloogilised andmed ATIS-e generaatorarvutisse automaatselt, kuid ATIS-süsteemi kasutuselevõtu korral tuleb Tartu lennuväljal muuta SNOWTAM edastamise protseduuri. Uue süsteemi korral peab SNOWTAM-teade jõudma meteotöötajani, kes lisab selle käsitsi AWOS-süsteemi SNOWTAM-vormi. Sealt edasi edastatakse info juba automaatselt ATIS-teatesse koos ilma andmetega. Sellisel moel jääb ATIS-süsteemi haldamine täielikult Tartu lennujaamale. Uue olukorra puhul on lennujuhi ülesandeks kontrollida, kas õhusõiduki juhini jõudnud informatsioon vastab lennuvälja hetkeolukorrale ja vajadusel anda suuliselt täiendavat informatsiooni.



Joonis 1. Aeronavigatsioonilise teabe edastamine automaatinfoteeninduse süsteemi kaudu. (autori koostatud)

Combitech AB eksperthinnangul kujuneks ATIS-süsteemi lahenduse koosseis järgnevalt:

- 1) ATISe litsentsitasu;
- 2) ATIS-süsteemi paigaldamine AWOS-süsteemiga samasse arvutisse;
- 3) heli kohalduvus „Tartu airport“ hääldamiseks;
- 4) võimendi Apart PM7400MK2 või samalaadne;
- 5) heli edastaja (600/600 Ω), maksimaalselt 50-100m kaugusel raadiosaatjast;
- 6) arvuti helitahvel;
- 7) ATISe dokumentatsioon;
- 8) 4 tundi programmi väljaõpe;
- 9) programmi paigaldus.

Autor on selgitanud ATISe juurutamisega seotud investeerimise kulud, prognoosinud tegevuskulud ja käsitlenud võimalikke müügitulude tekkimist. Tegelikuses ei ole ATIS-süsteemi rakendamisel otsest majanduslikku kasu, s.t projekt ei ole järgnevatel aastatel positiivse tulemiga (vt. tabel 1).

Tabel 1. Kasumiaruanne (EUR)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Müügitulu	0	570	1 140	1 140	1 140	1 140
Muud äritulud	30 750	0	0	0	0	0
Kaubad, toore, materjal ja teenused	0	0	0	0	0	0
Mitmesugused tegevuskulud	1 181	841	841	840	840	840
Tööjõukulud						
Palgakulu	0	0	0	0	0	0
Kokku	0	0	0	0	0	0

tööjõukulud						
Põhivara kulum ja väärtuse langus	1 250	5 000	5 000	5 000	5 000	3 750
Ärikasum	28 319	-5 271	-4 701	-4 700	-4 700	-3 450
Finantskulud						
Intressikulud	0	0	0	0	0	0
Kokku finantskulud	0	0	0	0	0	0
Kasum enne tulumaksustamist	28 319	-5 271	-4 701	-4 700	-4 700	-3 450
Tulumaks	0	0	0	0	0	0
Aruandeaasta kasum	28 319	-5 271	-4 701	-4 700	-4 700	-3 450

Siinjuures tuleb aga arvestada, et organisatsiooni sees teostatavale projektile ei peaks rakendama tavapärase majandusüksuse amortisatsiooni arvestust (20% aastas). Praegu näeme, et kulumi arvestusel on suur roll negatiivse tulemi kujunemisel.

Kokkuvõte

Töö tulemusena on koostatud süsteemne ülevaade automaatinfoteenindusest ja selle teostatavusest Tartu lennuväljal ning antud soovitusel ATISe rakendamiseks.

Selgus, et automaatinfoteeninduse rakendamine Tartu lennuväljal ei anna küll otsest majanduslikku kasu, kuid aitab tõsta lennuohutuse taset, vähendada lennujuhi töökoormust ja tõsta Tartu lennuvälja usaldusväärsust lennufirmade silmis, mis võib tulevikus suurendada ka lennuoperatsioonide arvu. RNAV - protseduuri jaoks on ATIS väljaspool lennujuhtimisüksuse tööaega hädavajalik, võimaldades õhusõiduki juhtidel saada täpseid õhurõhu andmeid ohutuks lendamiseks halva nähtavuse ja suurte külmakraadide korral. Tehniliselt on ATIS-süsteem kergesti ühendatav automaatse ilmavaatlussüsteemiga AWOS7, mida Tartu lennujaam kasutab ja seega igapäevane lisatöö seisneb vaid raja olukorra andmete sisestamisel.

ATISe igapäevaseks kasutamiseks kulub autori arvates 12 kuud, kuna sagedusloa saamiseks kulub vähemalt 8 kuud. Eestis kasutatakse maa/õhk side jaoks sagedusvahemikku 118–137 MHz, selles vahemikus võiks olla ka ATIS-teadete edastamiseks kasutatav raadioside sagedus. ATISe soetuse korral on tegemist suurhankega ja hankedokumentide koostamine ning hinnapakkumiste saamine võtab ka aega. Töö autor koostas tegevuste eeldatava ajakava ning soovituslikud tingimused hanke korraldamiseks.

Käesolevale tööle toetudes on võimalik paremini mõista automaatinfo-teeninduse olulisust lennunduses. Tartu lennujaamal aitab see lõputöö korraldada suurhanget täpsete hinnapakkumiste saamiseks ning planeerida tegevusi ATISe rakendamiseks.

K. Likk. *Tartu lennujaama automaatinfoteeninduse süsteemi teostatavuse uuring*: lõputöö, juhendaja Jaan Tamm (PhD), konsultant Juhan-Johhen Ross. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2014.

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 31 allikat

SUMMARY

SURVEY OF AUTOMATIC TERMINAL INFORMATION SERVICE SYSTEM IMPLEMENTATION AT TARTU AIRPORT

Keywords: ATIS, automatic terminal information services system, aviation safety, automatic weather observation system

The purposes of this diploma thesis are to find out if the automatic terminal information service system (ATIS) is necessary at Tartu airport and to analyze ATIS' major financial expenses and incomes proceeding from its implementation. The topic selection is based on the relevance of automatic terminal information service at Tartu airport. The main objective of the research is to identify the feasibility, profitability and sustainability of the ATIS at Tartu airport.

The research is based on the ATIS system used at Tallinn Airport, on the opinions of the experts, of the product providers, and on the documentations and policy of Tartu Airport. ATIS would reduce air traffic controllers' workload, which is an important factor in air safety. Implementing the system makes Tartu Airport more reliable and attractive to aviation companies and is an important factor to increase the number of regular scheduled flights.

Feasibility analysis enables to ensure technological competence of ATIS implementation. The paper focuses on Tallinn Airport's automatic terminal information service and Tartu Airport's automatic weather observation system.

The thesis consists of three chapters.

Chapter 1 gives a review of telecommunication systems used in aviation, thoroughly describes the technical specifications of ATIS and gives an overview of the automatic weather observation system at Tartu Airport, which can easily be connected to ATIS.

Chapter 2 analyzes the feasibility of ATIS at Tartu Airport, highlighting its major financial indicators and the sustainability of the system. This chapter also describes the information transmission to the pilots now and the way it would be done via the automated terminal information service.

Chapter 3 makes suggestions for disposing of the ATIS currently in use. It gives the main implementation tips and timeline and thoroughly explains the radiofrequency application procedure; it also carries the author's suggestions for organizing a tender for ATIS purchase.

The author expects that the research done for this thesis facilitates the understanding of the importance of ATIS and its application in aviation. The results of this research may help Tartu Airport in organizing the tender for ATIS purchase, and the subsequent implementation of the system.

ASI ESTONIAN AIR LENNUKITE E170 JA CRJ900 ÜBERPÖÖRAMISE PROTSEDUURID TALLINNA LENNUJAAMAS

KATRIN LEMET

Juhendaja: Allan Nõmmik (MSc), konsultant Vilma Oras

Märksõnad: õhusõiduki ümberpööramise protseduurid, ümberpööramise aeg

Sissejuhatus

Lennukipargi efektiivsuse ja lennuplaanide paindlikkuse suurendamiseks üritavad lennuettevõtted vähendada *turnaround*i (edaspidi ümberpööramine) aega. Õhusõiduki ümberpööramise protseduurid mängivad suurt rolli väljalendude viivitamisel. Parem ümberpööramise protseduuride ajaline täpsus vähendab kulusid ja parandab reisijate heaolu.

ASi Estonian Air jaoks on tähtis lendude graafikus püsimine ja klientide heaolu säilitamine. Hilinevate lendude puhul on tähtis päeva jooksul hilinevate vältida ja neid ennetada. Võimalikult kiired ümberpöörased vähendavad ka lennuki meeskondade ületundide arvu suurenemise riski. AS Estonian Air soovib alustada Tallinna lennujaamas testiperioodi, mil vaadeldakse hilinevate lendude lühemat ümberpöörämist (35 minutit), et saada aru, kas ja mida on võimalik muuta kiirema ümberpööramise läbiviimiseks. Vastavalt ASi Estonian Air ja Tallinn Airport GH koosolekuprotokollile, on eesmärgiks hilinevate lendude puhul lennuki E170 25- ja CRJ900 30-minutiline ümberpööramine.

Kui õhusõiduk jõuab parkimisplatsile, toimub erinevaid saabumis- ning väljumisprotseduure, mille jooksul valmistatakse õhusõiduk ette järgmiseks väljalennuks. Olles ise puutunud kokku õhusõiduki ümberpööramise protsessiga, leiab autor, et seda on võimalik läbi viia lühema aja jooksul. Kuna Estonian Air on hilinevate lendude puhul huvitatud lühemast ümberpööramise ajast, otsustas autor uurida ja analüüsida ettevõtte E170 ja CRJ900 lennukite vastavaid protseduure, hinnata selleks kuluvat aega ning analüüsi põhjal teha ettepanekuid ümberpööramise protseduuride parendamiseks.

Eelnimetatu ongi käesoleva töö eesmärgiks ning töö tulemus võiks leida kasutust Tallinna lennujaamas lennukite ümberpööramisaja lühendamiseks.

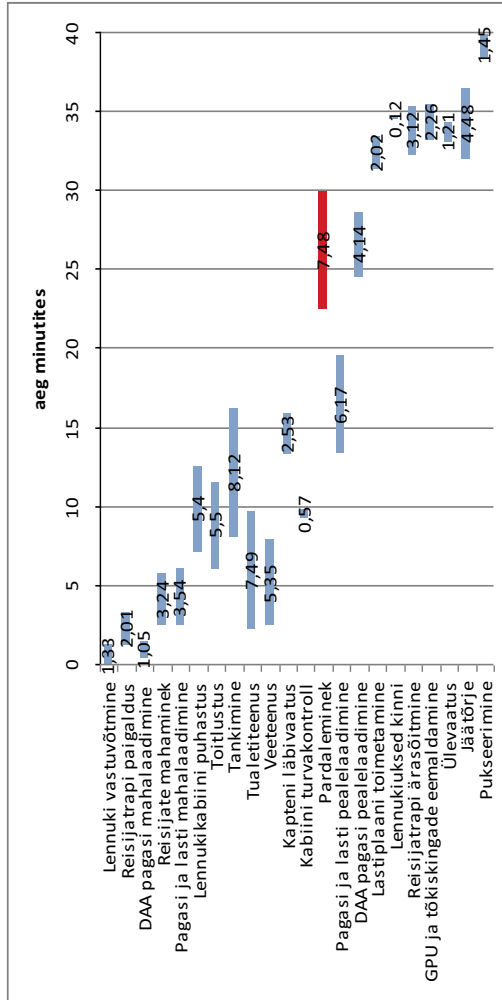
E170 ja CRJ900 ümberpööramise protseduuride analüüs

Lennukite E170 ja CRJ900 ümberpööramise protseduuride analüüsi teostamiseks koostati vaatlusprotokoll ja jälgiti 40 Estonian Airi ümberpööramist Tallinna Lennujaamas:

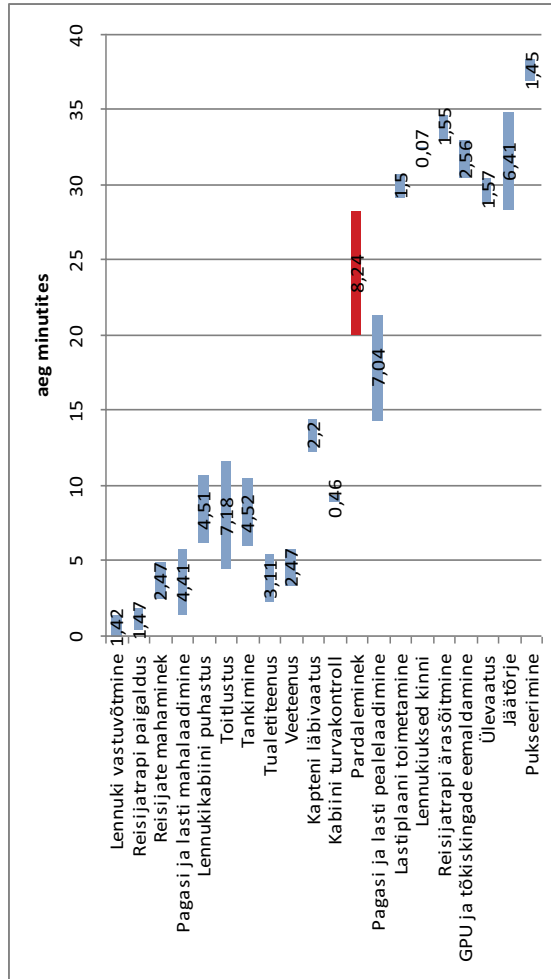
- 20 ümberpööramist õhusõidukiga E170,
- 20 ümberpööramist õhusõidukiga CRJ900.

Protokoll koostati AS Estonian Airi maapealse teeninduse käsiraamatute põhjal. Protokollis on kajastatud vaadeldavate ümberpööramise protseduuride alguse ja lõpu aeg ning kestus. Vaadeldi ka ümberpööramisi, mille *on block* oli planeeritud varem või hiljem. Märkustena on välja toodud *on* ja *off block*'i aeg, reisijate arv väljalennul, teenindajate arv erinevatel protseduuridel ja muud tähelepanekud ümberpööramise protseduuride läbiviimisel.

Saadud andmete põhjal arvutati välja ümberpööramise protseduuride keskmine algus- ja lõpuaeg ning kestus, mille kohta koostati Gantti graafikud (vt joonised 1 ja 2). Graafikud annavad visuaalse pildi iga töö teostamiseks kuluvast ajast ning sellest, milliseid töid tehakse samaaegselt. Graafikud illustreerivad E170 ja CRJ900 ümberpööramise vaatluse tulemusi, kus on toodud välja ümberpööramise protseduuride algus- ning lõpuajad ja kestused. Horisontaalteljel on protseduuride ajad, mida on mõõdetud minutites. Keskmine kestus on märgitud protseduuri sinisel joonel ning punasena märgitud joon tähistab ümberpööramise kriitilist protseduuri. Vertikaalteljel on märgitud ümberpööramise protseduurid.



Joonis 1. CRJ900 vaatluste protokollide põhjal koostatud Gantt'i graafik ümberpöördamise protseduuride ajalise kestuse kohta



Joonis 2. E170 vaatluste protokollide põhjal koostatud Gantt'i graafik ümberpöördamise protseduuride ajalise kestuse kohta

Kokkuvõte

AS Estonian Air teostab lende nelja E170 ja kolme CRJ900 lennukiga. Vastavalt lennuettevõtte maapealse teennduse käsiraamatule, on mõlema lennukitüübi lühim ümberpööramise aeg 35 minutit. Hilinemisega saabunud lendude puhul on eesmärgiks saada ümberpööramise ajaks CRJ900 puhul 30 minutit ja E170 puhul 25 minutit.

E170 ja CRJ900 ümberpööramise analüüsimiseks Tallinna lennujaamas koostati erinevate käsiraamatute põhjal vaatlusprotokoll, mida täideti õhusõiduki ümberpöörast jälgides. Neljakümne vaadeldud ümberpöörast põhjal analüüsi mõlema õhusõidukitüübi ümberpöörast lennujaamas. Protokollide põhjal koostati statistika ning Gantti graafikud, mis illustreerivad E170 ja CRJ900 erinevate ümberpöörast protseduuride täideviimist ajaliselt.

E170 ja CRJ900 ümberpöörast läbiviimist ajal on teatud protseduurid kriitilised, mistõttu on kiirema ümberpöörast tagamine raskendatud. Hilinevate lendude puhul on võimalik ümberpöörast protseduuride teenindamisega lühendada. Reisijate pardaleminek on kõige kriitilisem protseduur nii regulaarsete kui ka hilinevate lendude puhul. Pardaleminekuga alustatakse suhteliselt hilja ning reisijatel puudub sageli vajalik informatsioon pardalemineku alustamisaja ja koha kohta. Täislendude puhul on soovitatav alustada pardaleminekuga 25 minutit enne planeeritud väljalennuaega.

Võib järeldada, et CRJ900 puhul 30- ja E170 puhul 25-minutiline ümberpöörast on hilinevate lendude puhul võimalik, kui lennuki meeskond, maapealse teenindust personal ning teised ettevõtted, mis on seotud õhusõiduki teenindamisega, teevad efektiivse ja kiirema ümberpöörast läbiviimisel koostööd.

Hilinevate lendude puhul on soovituslik teha *pre-boarding* kütust tankimist, lennukikabiini puhastamist ja toitlustust pealelaadimist ajal ning kasutada nii maha- kui ka pealemineku ajal reisijatetrappi. Schengeni viisaruumi mitte kuuluvatesse riikidesse väljuvate lendude puhul tuleks muuta venekeelne teadaanne kohustuslikuks, kuna nendel lendudel valdab märkimisväärne arv reisijaid ainult vene keelt.

Käesoleva uurimistöö edasiarendustena oleks võimalik analüüsida tehtud ettepanekute efektiivsust hilinevate lendude ümberpöörast läbiviimisel. Ka tagasiside saamine lennuki meeskonna ja maapealse teenindust liikmetelt ning selle analüüsimine on väga tähtis saamaks terviklikku ja objektiivset ülevaadet

ümberpööramise tulemuslikkusest. Saadud uutele kogemustele ja teadmusele tuginedes on võimalik teha täiendavaid ettepanekuid.

Parendusettepanekute rakendamisel peab autor oluliseks põhjalikumalt analüüsida kõige kriitilisemat protseduuri – pardaleminekut, mille puhul proovitakse läbi erinevaid pardale minemise tehnikaid. Hetkeseisuga on Estonian Airil kasutusel plaanitu pardaleminemise meetodit. Uurides erinevaid pardaleminemise tehnikaid, saab välja selgitada, milline pardaleminemise tehnika on kõige efektiivsem ja kiirem Estonian Airi ümberpööramise korral.

K. Lemet. *ASi Estonian Air lennukite E170 ja CRJ900 ümberpööramise protseduurid Tallinna lennujaamas: lõputöö, juhendaja Allan Nõmmik (MSc), konsultant Vilma Oras. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2014.*

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 20 allikat

SUMMARY

TURNAROUND PROCEDURES FOR ESTONIAN AIR Ltd AIRPLANES E170 AND CRJ900 AT TALLINN AIRPORT

Keywords: aircraft turnaround procedures, turnaround time

In order to increase the effectiveness of aircraft fleet and to improve the flexibility of flight plans, the airlines work constantly on reducing turnaround time. Aircraft turnaround operations are known to play a primary role in aircraft flight delays. The punctuality of improved turnaround procedures reduces costs and improves the well-being of passengers.

It is important for Estonian Air Ltd to have flights on schedule and to maintain their clients' well-being. In addition, it is important to reduce and avoid flight delays during the day. Faster turnarounds reduce the compulsion for flight crews to work overtime. Estonian Air Ltd is planning to launch a tryout period at Tallinn Airport in which the possibility of curbing the turnaround times can be studied. The data to be collected in this tryout period should indicate whether and how it is possible to improve turnaround procedures. The goal is to achieve 25-minute turnaround for the aircraft E170 and 30-minute turnaround for the aircraft CRJ900 in situations of delayed flights.

When the aircraft reaches the parking stand, a lot of different service procedures are done that are needed for the immediate, subsequent departure. Having constantly been in contact with the turnaround procedures, the author

became interested in researching into opportunities of performing the turnaround procedures in shorter periods. Estonian Air Ltd is interested in implementing shorter turnaround times on delayed flights. To accomplish this, the author decided to analyze the turnaround procedures used at the CRJ900 and E170 aircraft of Estonian Air Ltd and to conduct necessary research to make suggestions for improvement. The information needed for the research within this major project, was mainly from the manuals of Estonian Air Ground Handling. Based on the manual the author developed an observation protocol that was filled out while observing 40 turnarounds of Estonian Air planes. Gantt charts were developed by using the observation protocols. The E170 and CRJ900 turnarounds were analyzed based on the Gantt and statistical charts. The information received was used to analyze the procedures and to bring out the critical procedures that need improvement.

This research consists of three chapters. Chapter 1 gives an overview of E170 and CRJ900 turnaround procedures and critical paths. Chapter 2 analyzes the results that were obtained by using the observation protocol. Chapter 3 describes the outcomes of the analysis and suggests the improvements to be made in the turnaround procedures. As a result of the analysis, the 25 minute E170 and 30 minute CRJ900 turnaround on delayed flights can be possible when practicing the pre-boarding; using the air-bridge on disembarkation and boarding, and by making announcements for passengers, flying to Russia and Ukraine, also in Russian.

Results of this research can be used to improve the turnaround efficiency when servicing the Estonian Air planes at Tallinn Airport. This research can be further expanded by analyzing the opportunities and effects of using different boarding techniques (versus the random boarding technique, currently used by Estonian Air).

ÕHUSÕIDUKI EHITUS JA HOOLDUS

SAATEKS

Tsükliline areng – et muutused oleksid tajutavad peavad nad toimuma hooti, muutlikult - nagu Newton kirjeldas oma esimeses seaduses. Vastasel korral ei avaldu areng, ei ilmuta end meile tunnetataval kujul. Kui arengus ei esine ekstreemumeid, nullkohti, võime selle lineaarset progressiooni tajuda võrdväärseks paigalseisuga. Kui aga areng muutub püsivaks, muutub lineaarseks, siis see enam ei piira ega piiritle, vaid läbib. Läbistamisel jääb piir tabamatuks, hoomamatuks. Kui ei ole aga piire, kaob ära ka mõõdetavus. Ja seda tänapäevane haridus- ja teadusmaailm ei salli. Traagiline ajatsükkel on siin järgmine: piiri tõmbamine, sellest üleastumine, karistus, sellele järgnev langus (piirini, või sellest madalamale), lepitus, lunastus – tees-antitees-süntees – klassikalise tragöödia stsenaarium (Oidipuse müüt).

Tulles nüüd Lennutehnilise koolitusosakonna ja möödunud aasta tegevuste juurde, kõrvutades möödunud aastal saavutatut, käivitatud – hetkeolukorraga, mõeldes kas piir on ületatud, või kuhu see üldse tõmmatud on, siis vastus on ilmselge – “Jah” – oma abstraktsuses ja lakoonilisuses. Väga üldises käsitluses on osakond visalt jatkanud kõiki oma tegevusi, arendades neid võimaliku täiuse suunas.

Käesoleval perioodil oleme jätkuvalt pööranud suuremat rõhku elektroonika, elektrotehnika, mehatroonika, digitaalelektronika jt selle valdkonna kompetentside arendamisele “Õhusõiduki ehituse ja hoolduse” õppekava raames. Oleme täiustanud ainekavasid praktilise õppe elementidega, et ei tekiks ainult teadmisi ja üksikkirjeldusi asjade olemuse kohta vaid tervikpilt – et Lennuakadeemia lõpetaja ei teaks ainult, mis asi on kondensaator ja missugused on selle omadused, aga teaks ka, kuidas seda skeemi ühendatakse, miks seda sinna üleüldse vaja on ning kuidas võiks elektrimahutavus olla rakendatav ka väljaspool trükkplaati – näiteks õhusõiduki paakides oleva kütusekoguse mõõtmisel, polümeervaiakude polümerisatsiooniastme määramisel jne, jne.

Samuti oleme jatkanud tööd mehitamata õhusõidukite valdkonna arendamises – osaleme valdkonna õigusloome protsessis; Eesti Lennuakadeemia juurde võimalikult loodava mehitamata õhusõidukite testkeskuse ja teiste mastapsete arendusprojektide juurutamises; oleme valdkonna ettevõtetele rakendusuuringute raames välja töötanud ja välja töötamas erinevaid tehnilisi ja tarkvaralisi lahendeid; toetanud valdkonda vajaliku oskusteabe levitamisega; arendanud ainekavasid eestikeelse valdkondliku koolituse pakkumiseks.

Õhusõiduki ehituse ja hoolduse õppekavasse kuuluva EC2042/2003 Lisa III kohase õhusõidukite mehaaniku baaskoolituskursuse arendamiseks oleme lisaks teoreetilisele koolitusele arendanud ka praktilise õppe suunda “tavaliste” liini- ja baashooldustööde harjutustega ELA õppeaangaris, eelmisel aastal soetatud õhusõidukil Learjet 25b. Lisaks kirjeldatule oleme valdkonnast ja selle toimimisest parema ülevaate saamiseks tervikuna – õhusõiduki omanik, operaator, jätkuvat lennukõlblikkust tagav organisatsioon, õhusõiduki hooldusorganisatsioon – kõigi osapoolte omavaheliste suhete, vastutuse ja rollide mõistmiseks laiendanud lennundusalaste õigusaktide õpet ning oleme loomas Eesti Lennuakadeemiaga tihedalt seotuna, kuid siiski eraldiseisvalt tegutsevat EC2042/2003 Lisa II kohast õhusõidukite hooldusorganisatsiooni. Vastav organisatsioon võimaldaks õppuritel paralleelselt klassiõppes omandatavaga näha omandatu toimimist/mittetoimimist hooldusettevõtte praktikas ja kontekstis. Seda kõike eesmärgiga tagada kooli lõpetanute kergem ja kiirem siire ja kohalduvus tööjõuturule (koos selle eelduse ja ideaalidega).

Seega kokkuvõtvalt, möödunud aastal oleme arendanud juba varasemalt käivitatud ilma oluliste hüpete, vaheaegade ja laineteta, eesmärgiga jõuda ideaalini, mis jääb alati küündimatuks, saavutamatuks. Kuna ideaal on küündimatu, ei ole piirid tajutavad (seega peavad nad olema ületatud), mistõttu arengutegevuste revideerimisel puudub otsene pidepunkt, kuhu asetada joonlaud, et tuua välja midagi, mis oleks oluliselt teisiti – seda nii valdkondades, intensiivsuses jm. Niisamuti nagu osakonna tegevuses laiemalt peegeldub **püsiv** areng ja püüd täiuseni ka möödunud aastal kaitsitud lõputöödes, milles järgnevalt toodud kokkuvõttes arendab üliõpilane edasi möödunud õppeaastal lõpetanud tudengi poolt saavutatut.

Karl-Eerik Unt

Õhusõiduki ehituse ja hoolduse osakonna juhataja

ÕPPETREENINGLENNUKI PTO-4 TIIVATALA TUGEVUSE KONTROLL

KARL LAIMETS

Juhendaja Peep Lauk (MSc), konsultant Jakub Kõo (PhD)

Märksõnad: Eesti lennunduse ajalugu, PTO-4, lennuki tiivatala, EASA, piirkoormuseni katsetamine, mudeli ehitus

Grupil lennundusentusiastidel on tekkinud plaan taastada Eestis 1938. aastal esmakordselt ehitatud puidust õppetreeninglennuk PTO-4. Nimetatud õhusõiduk pidi sobima lendamise algõpetuseks, akrobaatikaks ja instrumentaallennuks koos instruktoriga ning soololendudeks, lisaks olema rakendatav väeosades. Eriseades sobis ta kasutamiseks ka sidelennukina maksimaalse lennukaugusega kuni 1500 km kiirusel 210 km/h.

2013. aastal Eesti Lennuakadeemias kaitstud M. Lentsiuse lõputöös esitatud tulemused kinnitasid, et PTO-4 taasvalmistamine, hoolimata ebaühtlase kvaliteediga algupärastest joonistest ning mõningatest teistest uuringus viidatud takistustest, on reaalne. Projektiga edasiminekuks pidas autor vajalikuks hinnata olemasolevate jooniste põhjal tiivatala konstrueerimise võimalikkust ning selle elemendi tugevust hetkel kehtivatele nõuetele.

Uuringu käigus püstitas autor kaks hüpoteesi, esmalt sellel eesmärgil, et empiirilisel näidata õppetreeninglennuki reproduktiooni võimalikkust:

H1: Lähtudes olemasolevatest joonistest on võimalik ehitada lennuki PTO-4 tiivast koopia.

Teiseks eesmärgiks oli katseliselt kontrollida, kas tiib vastab EASA poolt kehtestatud tänapäevastele nõuetele:

H2: PTO-4 tiivatala mudel peab vastu inseneride poolt lubatud ülekoormusele, seega vastab EASA nõuetele.

Nõuded ja normid õhusõiduki konstruktsioonielementide tugevusele tänapäeval erinevad oluliselt 20. sajandi esimesel poolel nõutust. Seetõttu otsustas autor uuringu praktilise osana kõigepealt ehitada tugevuse kontrolliks PTO-4 tiiva konsooli kandva osa $\frac{1}{2}$ mõõdus mudel (joonis 1). PTO-4 tiivatala koosnes esimesest ja tagumisest talast. Mõlemad talad on analoogse ehitusega,

koosnedes alumisest ja ülemisest vööst. Ülemise ja alumise talavöö vahel on talapakud. Tala esimene ja tagumine külg kaeti kasevineeriga.

Vähendatud mõõtmetega mudel valmistati seetõttu, et täismõõdus tiivatala ehitamine on märkimisväärselt töömahukam, kallim ning keerulisem, kui mudeli valmistamine. Autori hinnangul annab uuringu eesmärkide saavutamiseks ka mudel piisava informatsiooni. Ehitus jagunes kolme faasi: tiivatala vööde valmistamine, esimese ja tagumise tala ühendamine ning ribide ja kinnituskronsteinide lisamine.



Joonis 1. Tiivatala 1/2 mudel (autori foto)

Koopia ehitusest saadud kogemuste põhjal leidis autor, et olemasolevate Eesti Rahvusarhiivist kättesaadavate jooniste järgi on nõuetele vastav tiib võimalik konstrueerida. Originaaltiiva ehituseks on joonised mõneti puudulikud, olulisema probleemina võib nimetada tiivaribide konstruktsiooni ning tiivakattematerjali jooniste puudumist. Kasutades aga lahendusi analoogsete puitlennukite konstruktsioonidest on võimalik ehitada PTO-4-le ligilähedane lennuk.

Järgnevalt arvutati arvutiprogrammidega tiivale mõjuvad koormused ning hinnati tiiva konsooli mudeli vastavust tänapäeval kehtivatele tugevusnormidele.

Autor testis tiiva vastupidavust plastse deformatsiooni või purunemiseni. Tiivatala tugevuse katsetamine valiti seetõttu, et see on tõenäoliselt esimene osa lennuki konstruktsioonist, mis ülekoormuse tõttu puruneb.

Katsetamisel juhinduti Euroopa Lennundusohutusameti nõuetest, kus on välja toodud väikeste lennukite konstrueerimise spetsifikatsioonid ja nõuded, millele need peavad vastama, kuid ei täpsustata testimise viisi. Autor leidis, et kõige otstarbekam on liivakottidega katsetamine purustava ülekoormuseni (joonis 2).

Esimene katse toimus kolmekordse ülekoormuse juures. PTO-4 arhiivjoonistel oli märgitud maksimaalseks ülekoormuseks üheksa korda. Kokku viidi läbi kaheksa katsetust. Pärast viimast katset, 9,9-kordse ülekoormuse juures, tekkis tala kinnituskronsteinis plastne deformatsioon ning edasine katsetamine osutus võimatuks.



Joonis 2. Tiivatala koormamine 70% (autori foto)

PTO-4 tiiva konsooli mudeli ehitamise ja katsetamise tulemusena võib järeldada, et olemasolevate arhiivjooniste põhjal on võimalik ehitada koopia tiivatalast, kuid puudu jääb olulist informatsiooni täismõõtmtes lennuki ehitamiseks. Sarnaselt ½ mudelile, peab lennuki tiivatala tõenäoliselt vastu inseneride ette nähtud üheksakordsele ülekoormusele, kuid vajalik oleks jätkata uurimist antud teemal ning läbi viia täismõõtmtes tiiva testimine.

K. LAIMETS. *Õppetreeninglennuki PTO-4 tiivatala tugevuse kontroll:* lõputöö, juhendaja Peep Lauk (MSc), konsultant Jakub Kõo (PhD). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2014.

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 22 allikat.

SUMMARY

TRAINING AIRCRAFT PTO-4 WING SPAR ULTIMATE LOAD STATIC TEST

Keywords: History of Estonian aviation, PTO-4, wing spar, EASA, ultimate load limit, model construction

PTO-4 was a training aircraft built in 1938 by Estonian engineers to fit the needs of the Estonian Air Force. It had a lightweight wooden structure that could endure the forces of aerobatic maneuvers and provide excellent flight characteristics compared with its competitors.

The aim of this study was to analyze the possibility of reproducing this aircraft and further develop the aims and achievements described in the graduation thesis of M. Lentsius (2013 Estonian Aviation Academy).

The author was looking for answers to two primary research questions – whether the wooden aircraft PTO-4 wing could be built based on existing knowledge from the original blueprints; and whether it complies with modern requirements.

The practical part of the thesis consisted of building a ½ scale model of the PTO-4 wing spar console and a jig supporting the wing spar. The wing is the most important part of the structure to be built and tested because it is affected by the biggest loads and typically the first part to show structural failure. The

author came to the conclusion that it is possible to build the aircraft wing based on archive blueprints.

The PTO-4 wing spar consisted of a forward and rear spar, both similar in construction, consisting of an upper and a lower spar cap. A ½ scale model of the PTO-4 wing spar was constructed because the full scale spar would require much more time and material, and a half scale model gives enough information in load tests.

Load tests were conducted on the wing spar console. After the first test at the load factor of 3, no visible signs of deformation were seen. Loads were raised with each test after that. Plastic deformation in the metal fitting was observed at the load factor of 9.9. These results prove the aircraft would comply with modern requirements. For future research and licensing by EASA a full scale wing should be built and tested

As a result of building and testing the PTO-4 wing spar console model it can be said that based on existing blueprints and data from load tests, it is possible to construct a full scale wing spar that can withstand the ultimate load foreseen by engineers, and also comply with EASA standards. However, more information or blueprints about its construction would be needed to build and test a full scale PTO-4 aircraft.

RAKENDUSUURINGUD



TEHNILISED VÕIMALUSED BOEING 737 CLASSIC (300; 400; 500) SEERIA REISILENNUKITE MODERNISEERIMISEKS

PEEP LAUK

ELA lennutehnika osakonna õppejõud

Märksõnad: reisilennukite kütusekulu, lennuparameetrite optimeerimine, tagatiiva modifitseerimine, voolundite modifitseerimine

Sissejuhatus

Eesti Lennuakadeemia lennutehnika osakond on uurimistööde raames pikema perioodi vältel tegelenud võimaluste otsimisega lennukite kütusekulu vähendamiseks. Boeing 737 Classic seeria reisilennukid on tuntud kõrge töökindluse, mugavate hooldustingimuste ning suhteliselt soodsa hinna poolest. Kokku on neid toodetud 1988 tükki. Paljude lennukioperaatorite lennukite-pargist moodustavad antud lennukitüübid enamiku. Suurimaks puuduseks tuleb lugeda selle lennukitüübi suuremat kütusekulu reisija kohta, mis ületab märksa uuemat Boeing-737 NG keskmiselt 16 % ja Airbus A-320 10 %. Teatavasti on lennukikütuste, sh. Jet A-1 hind kasvanud viimase kahekümne aasta jooksul üle kolme korra, ulatudes 763 euron/tonn. Sellest tulenevalt on lennukite väiksem kütusekulu otsustava tähtsusega faktor paljudele lennufirmadele konkurentsisis püsimisel.

Programmi eesmärgid:

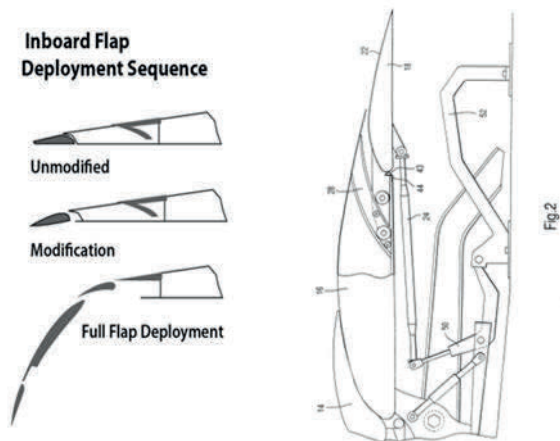
1. Reisilennukite kütusekulu (trip fuel) vähendamine ning sellega kommertslendude kasumlikkuse tõstmine.

2. Lennuki hooldus- ning koolitusorganisatsioonidel täiendava teenuse pakkumine lennukioperaatoritele.
3. **Programm koosneb:**
 1. **Tagatiiva (*aft flap*) modifitseerimine.**
 2. **Tiivaotsa voolundite (*winglettide*) modifikatsiooni kasutamine.**
 3. **Modifikatsioonidest tulenev lennuparameetrite optimeerimine** vastavalt kliendi poolt kasutatavale lennukile (lennuki seeria nr, mootori tüüp, reisijakohtade arv, lennuliini ulatus jne). Tarkvaraprogrammi koostamine (või olemasoleva arendamine).
 4. **Tagatiibade, kaldtüüride ja kerevaheliste voolundajate modifitseerimine** eesmärgiga vähendada täiendavalt 1 % kütusekulu ning disainiorganisatsiooni ja EASA poolse heakskiidu saamine.
 5. **Lennuki plaaneria kontrollmõõdistamine ning dokumenteerimine**, samuti vajadusel reguleerimine või remont (eestiibade aste, spoilerite pilud, telikuluukide, ukse- ja luugiraamide ning kere- ja tiivapaneelide ühendused jt). Madalamate (voolujoonelisemate) kokkupõrke-hoiatustulede süsteemi (*anti-collision light*) paigaldamine.
 6. **Kergemate salongiinterjöörü materjalide kasutamine** lennukaalu vähendamiseks (salongi ja lastiruumi kattepaneelid ja katted, põrandakatted, reisijate istmed jms).

Tehniline kirjeldus

1. **Tagatiibade modifikatsioon nn. Ecowing** (joonis 1) on välja töötatud USA-s Nevadas tegutsevas ettevõttes **Aerotech Services Inc.**, mis võimaldab vähendada tiiva profiilitakistust Cl väärtustel 0,52–0,7 ja parandada tõstejõu jagunemist tiival. Samal ajal väheneb kere pikinurk lennusuunas 0,5–1°, mis toob kaasa kere õhutakistuse vähenemise ja ühtlasi kütusekulu vähenemise kokku **2–4% (2)**. Lisaks lüheneb õhusõiduki starditeekond, suureneb tõusukiirus, optimaalne lennukõrgus (ca 800 ft) ja lennuulatus. Modifikatsioon on saanud EASA heakskiidu Boeing 737-300, 400 ja 500 seeria reisilennukitel kasutamiseks. Seejuures on antud modifikatsioon B 737-400 puhul ainuvõimalik. Lühikestel, alla 500 NM lennuliinidel, on antud modifikatsioon kütusekulu seisukohalt efektiivsem, kui *winglettide* kasutamine. Modifikatsiooni kohaselt reguleeritakse tagumine tagatiib (*aft fla*) lennu ajal osaliselt väljalastud asendisse. Sellega suureneb tiivaprofiili kumerus ja tiivapindala. Pilu tekke vältimiseks kinnitatakse *aft flap*-i ette, tiiva sisse, tihendiga

metallprofiil. Töö maht koos FMS ümberprogrammeerimisega ulatub 300 töötunnini ja maksumus eeltoodud ettevõttes 140 000 USD. Tuntuimatest lennuettevõtetest kasutavad nimetatud modifikatsiooni Brussels Airlines, Swiftair, MNG Airlines ja Ukraine International Airlines.



Joonis 1. Boeing 737 tagatiibade modifikatsioon Ecowing. /2/

2. **Blended winglet-id** (tootja **Aviation Partners Boeing Inc.**) vähendavad oluliselt tiiva induktiivtakistust, parandavad tõstejõu jagunemist ja suurendavad efektiivset tiiva pindala (1). Suureneb õhusõiduki tõusukiirus, optimaalne lennukõrgus (ca 1200 ft) ja suurim lennukaugus (ca 6%). Keskmiselt väheneb kütusekulu 3,5–4,5%. Lühikestel lennuliinidel vahemikus 150–500 NM jääb kütusesääst aga vahemikku 1%–2,6% *winglettide* lisamassi tõttu. *Blended winglettide* komplekt maksab B 737-300 ja 500-le 600 000 USD ning selleks kulub koos FMS ümberprogrammeerimisega 1600 töötundi. Antud modifikatsioon on tänapäeval juba küllalt laialt kasutust leidnud. Air Balticu kaheksast B 737-300-st on *winglettidega* varustatud 6 lennukit.
3. **Modifikatsioonide positiivsest koosmõjust** ja lennuparameetrite optimeerimisest (lennukiirus, optimaalne lennukõrgus) tulenev täiendav kütusesääst on olenevalt lennuliini ulatusest **0,9–1,5%**. Samas nõuab antud töö põhjalikku lennuprofiili modelleerimist ja kalkulatsiooni.
4. **Tiiva tõstejõu jagunemise optimeerimiseks** on vajadus täiendavate väikemodifikatsioonide järele tiiva tagaserval ja voolundajatel. Arvestuslikult peaks sellega tagatiibade modifikatsiooni kütusesääst tõusma 3%–4%-ni.
5. **Kergemate salongi elementide** kasutamine (kattepaneelid, reisijaistmed, põrandavaibad jms) võimaldab **200 kg** kaaluvõidu puhul kokku hoida 2800 lennutunni juures aastas **22 960 kg kütust** ehk 17 518 eurot. Seega 1 kg lennukaalu kergendamine võimaldab säästa aastas 115 kg lennukikütust.

Tabel 1. Kütusekulu kalkulatsioon (3,4, autori arvutused)

Lennukitüüp	Boeing 737-33Q	Boeing 737-33Q SPF modifikatsioonidega
	Mootorid CFM 56-3 C-1 (20K)	Reisijakohti 146
Lennuliin BT 655/656 Riia–Olbia (ITA) – Riia 2 x 2080 km (1123 NM) 19.08.2014		
Stardimass	56 577 kg	55 968 kg
Kütusekulu stardil ja tõusul	879 kg (3296,33 kg/h); 16 min.	916 kg (3053,33 kg/h); 18 min.
Kütusekulu reisikiirusel	FL 350 M = 0,745 IAS= 251,5 kts 4910 kg (2293,08 kg/h)	FL 370 M = 0,745 IAS= 240 kts 4397 kg (2124,26 kg/h)
Kütusekulu laskumisel	288 kg (864 kg/h) 20 min.	335 kg (864 kg/h) 23,3 min.
Kütusekulu kokku (trip fuel)	6077 kg	5648 kg
Kütuse kokkuhoid	429 kg (7,59 %)	
Lennuliin BT 722/723 Riia-Tbilisi– Riia 2 x 2260 km (1220 NM) 19.-20.08.2014		
Stardikaal	57 155 kg	56 468 kg
Kütusekulu stardil ja tõusul	907 kg (3401,25 kg/h) 16 min	943 kg (3143,33 kg/h) 18 min
Kütusekulu reisikiirusel	FL 350 M = 0,745 IAS= 251,5 kts 5460 kg (2304, 93 kg/h)	FL 370 M = 0,745 IAS= 240 kts 4870 kg (2131,63 kg/h)
Kütusekulu laskumisel	288 kg (864 kg/h) 20 min.	335 kg (864 kg/h) 23,3 min.
Kütusekulu kokku (trip fuel)	6655 kg	6148 kg
Kütuse kokkuhoid	507 kg (8,25 %)	

Kütuse kokkuhoid päevas	1872 kg
Kütuse kokkuhoid aastas x 300 päeva)	561 600 kg
Täiendav kasum aastas lennuki kohta	428 500 EUR

Kütusekulu väheneb modifikatsioonide tulemusel B 737-300 SPF reisija kohta / 100 km = 2,5 liitrit, mis on pisut kõrgem B 737-800 2,34 l kütust/reisijakoha kohta / 100 km. Arvestades, et Boeing 737-300 liisingmaksed on oluliselt madalamad, kui Boeing 737-800-l siis muudavad eeltoodud modifikatsioonid antud lennukitüübi täiesti konkurentsivõimeliseks uuemate lennukitüüpidega.

Tiiva modifikatsioonid aitavad pikendada **mootorite tööiga** ning vähendada kulutusi remondile, sest väheneb mootorite koormus tõusul ja reisilennul. Keskkonnakaitse seisukohalt on väga oluline **CO₂** ja **NO_x** emissioonide ning mürareostuse märkimisväärne vähenemine.

Kasutatud kirjandus:

1. <http://www.aviationpartnersboeing.com/index.php>
2. <http://www.aerotechservices737.com/>
3. <http://www.e-bookspdf.org/download/boeing-737-aircraft-maintenance-manual.html>
4. <http://www.lt-vacc.org/images/mesti/Boeing%20737-300-400-500%20Operations%20Manual.pdf>

IMPLEMENTATION OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM BASED ON ATC PROCEDURES AT TARTU AIRPORT

HEIKKI TAPANI KESKIKURU

ELA lennuliiklusteeninduse osakonna instruktor

ANU VARE

ELA lennuliiklusteeninduse osakonna juhataja

Keywords: global navigation satellite system, precision area navigation operations, standard instrument departure and arrival procedures, separations

Introduction

The main Estonian enterprises providing air traffic services (Estonian Air Navigation Services Ltd (EANS), Estonian Air Forces, Tallinn Airport Ltd) initiated the implementation of several important development projects in 2011 the most significant of which include the rearrangement of the air space and application of performance-based navigation (PBN). The development activities also include the application of Global Navigation Satellite System (GNSS) based procedures in Estonian aerodromes.

Within the framework of the project Estonian ANS signed an agreement with Estonian Aviation Academy on commission for the consultancy service the aim of which was to develop the plan of the Precision Area Navigation Operations (P-RNAV) IFR Standard Instrument Procedures (SID) for Tartu airport. In designing the plan it was necessary to take account of the GNSS approach procedures and P-RNAV IFR standard instrument arrival (STAR) plans developed by EANS for Tartu air traffic control unit.

The following article gives an overview of the design and study process.

General provisions

In P-RNAV environment, without surveillance, it is demanding to maintain a mental picture of a three dimensional, ever-changing air-traffic. Aircraft are not flying not only towards (out from) a few navigation aids but also towards subsequent GNSS points.

The GNSS receiver functions differently compared to conventional avionic receivers. Some aircraft using GNSS for navigation are not capable of flying an

outbound track from a waypoint. Those aircraft always have to track towards a waypoint.

In some cases, after passing the fly-over waypoints, the aircraft will not join a track from the fly-over waypoint, but would rather join a track direct towards the next waypoint. That is why for the spacing purposes an ATC prefers fly-by points to get aircraft on track.

While the concept of TO-TO navigation may pose a potential hazard, the safety analysis shows that technical risks are limited. The change from the old TO-FROM navigation to the new TO-TO navigation introduces changes to the pilot's perspective in regard to tools, tasks and associated procedures used, and it also applies to how the controller must apply the separation. Those issues need to be addressed to Air Traffic Controllers by means of training and awareness initiatives.

These are the bases used for Tartu airspace implication, not to use GNSS distance to a point XXXX for separation, but use the published points instead, which are providing us the separation/spacing needed and giving explicit tools for ATCO (air traffic controller) for the work.

“Mixed mode” operations

The most demanding situation in non-surveillance airspace is experiencing “mixed mode” operation. This situation is considered potentially disadvantageous to the controller even with radar controlled airspace. “Mixed mode” refers to a mix of air traffic where the navigation performance capability of the aircraft differs, i.e. some of the aircraft are RNAV equipped while some are not. At present in Tartu the only navigational aid is the UM locator, **so only mixed mode operation is allowed** to keep non-P-RNAV aircraft in UM holding when vertical separation does not exist. For non-P-RNAV IFR departures RWY Track can be used until the level above P-RNAV arrival is reached. The same solution has to be used in STAR or in the part of STAR which is established as separated in Tartu ATC Unit Local Rules.

For an arriving non-P-RNAV capable aircraft there is nothing else than vertical separation available when inside of terminal area boundaries, despite of the navigation performance of the other aircraft.

Obstacle clearance

Instrument flight procedure design includes the construction of routes, as well as STARs and SIDs. These procedures consist of a series of predetermined manoeuvres to be conducted solely by reference to flight instruments with specified protection from obstacles.

The requirements for obstacle and terrain clearance under P-RNAV will be as specified currently in Doc 8168 - *Aircraft Operations*, ICAO, 2006. In addition, planning has taken account of the following documents:

Doc 9613 - *Performance-based Navigation (PBN) Manual*, ICAO, 2013;

Doc 9426 - *Air Traffic Services Planning Manual*, ICAO, 1984;

Doc 9689 - *Manual on Airspace Planning Methodology for the Determination of Separation Minima*, ICAO, 1998.

In case an aircraft is flying an assigned SID or STAR, the procedure is granting sufficient obstacle clearance. If ATCO is giving direct to a point clearance (no pre-planned obstacle clearance exists) the obstacle clearance is on pilots' responsibility. Unless an IFR aircraft is receiving navigation guidance from ATCO in the form of radar vectors, the pilot is responsible for obstacle clearance. Therefore, the use of P-RNAV does not relieve pilots of their responsibility to ensure that any ATC clearance or instruction is safe in respect to obstacle clearance. Although obstacle clearance is the pilots' responsibility, an ATCO shall assign levels that are at or above the established minimum flight altitudes. (1)

Disruption of P-RNAV

When an aircraft cannot meet the requirements as required by the P-RNAV route or procedure as a result of a failure or degradation of the P-RNAV system, a revised clearance shall be requested by the pilot.

Global Navigation Satellite System Accuracy

GNSS offers position measurements that are equal to or more accurate than DME (distance measuring equipment), VOR (very high frequency omnidirectional radio range) or NDB (non-directional radio beacons).

The collision risk calculations done to establish the GNSS longitudinal separation referred to in ICAO Circular 321 has assumed that the:

GNSS along-track accuracy to be ± 0.124 NM,

GNSS cross-track accuracy to be ± 1 NM,

DME fix tolerance to be ± 0.25 NM plus 1.25 per cent of the distance to the antenna,

VOR accuracy to be ± 1 NM and ± 5.2 degrees and

NDB accuracy to be ± 1 NM and ± 6.9 degrees. (2)

All of them were assumed to be 95th percentile containment values.

In addition to superior accuracy, the GNSS receiver ensures integrity by providing alerts when a position with respect to the phase of flight cannot be guaranteed within a specific degree of certainty. This kind of integrity information does not exist in conventional navigation applications

These alert limits are typical operation horizontal alert limits:

En-route 3.7 km (2 NM),

Terminal 1.85 km (1 NM),

Approach 556 m (0.3 NM). (2)

Separation Minima

Separation minima described in Doc 4444 – *Air Traffic Management*, ICAO, 2007 subdivisions from 5.4.1.2.1.2 to 5.4.1.2.1.5 serve as the basis for local separations.

Conversional training

Conversional training course shall be designed to provide knowledge and skills appropriate to a change in the operational environment. Conversion training of ATCOs should contain the following.

Core subjects:

a) Working principles of area navigation systems (in the context of this navigation specification):

- i) functional capabilities and limitations of this navigation specification,
- ii) accuracy, integrity, availability and continuity,

- iii) GPS receiver, RAIM (receiver autonomous integrity monitoring), FDE (failure detection and exclusion), integrity alert,
 - iv) waypoint fly-by versus fly-over concept (and differences in turn performance);
- b) Flight plan requirements;
- c) ATC procedures:
 - i) ATC contingency procedures,
 - ii) separation minima,
 - iii) mixed equipage environment,
 - iv) transition between different operating environments,
 - v) phraseology.

Training specific to this navigation specification:

- a) RNAV STARs, SIDs:
 - i) related control procedures,
 - ii) altitude constraints,
 - iii) descend/climb clearances;
- b) RNP (required navigation performance) approach and related procedures;
- c) PRNAV related phraseology;
- d) impact of requesting a change to routing during a procedure.

Proposals for EETU RNAV STAR / SID and usage of those

Separation rule applies only with aircraft operating on published STAR/SID not on flights on a direct clearance.

In separation purposes no “ad-hoc“ GNSS distances are used. Only the published RNAV SID/STAR points can be used for separation. Tables 1 and 2 for approved separations were created to become an every-day tool and will be part of Tartu ATC Unit Local Rules.

Tabel 1. Hajutuste koondtabel rada 08
3 minuti reegel väljuva ja saabuva liikluse vahel

TASAND = kõrgushajutus

STAR	STAR OSKAV08	TASAND kuni TU863	HAUTATUD	HAUTATUD	SID OSKAV08	SID RISKU08	STAR OSKAV 08	STAR SUMIM08	STAR OSLIK 08	STAR RISKU 08
	STAR SUMIM08	TASAND kuni TU412 või BRAVU	TASAND kuni TU743	TASAND kuni NIVER	TASAND kuni TU743	TASAND kuni NIVER	TASAND	TASAND	TASAND	TASAND
	STAR OSLIK08	HAUTATUD	HAUTATUD	TASAND kuni TU743	TASAND kuni NIVER	TASAND kuni NIVER	TASAND	TASAND	TASAND	TASAND
	STAR RISKU08	HAUTATUD	HAUTATUD	HAUTATUD	TASAND kuni NIVER	TASAND kuni NIVER	TASAND	TASAND	TASAND	TASAND
SID	SID OSKAV08	TASAND	TASAND kuni TU532 või TU412	TASAND kuni TU412 või TU815	TASAND kuni TU412 või TU779	TASAND kuni TU412 või TU779	TASAND kuni TU863	TASAND kuni TU412 või BRAVU	HAUTATUD	HAUTATUD
	SID SUMIM08	TASAND kuni TU532 või TU412	TASAND	TASAND kuni TU815 või TU532	TASAND kuni TU779 või TU532	TASAND kuni TU779 või TU532	HAUTATUD	TASAND kuni TU743	HAUTATUD	HAUTATUD
	SID OSLIK08	TASAND kuni TU412 või TU815	TASAND kuni TU532 või TU815	TASAND	TASAND	TASAND	HAUTATUD	TASAND kuni TU743	TASAND kuni TU743	HAUTATUD
	SID RISKU08	TASAND kuni TU412 või TU 779	TASAND kuni TU532 või TU779	TASAND	TASAND	TASAND	HAUTATUD	TASAND kuni NIVER	TASAND kuni NIVER	TASAND kuni NIVER
OOTETSOONID	NIVER	HAUTATUD	HAUTATUD	HAUTATUD	HAUTATUD	HAUTATUD	TASAND	TASAND	TASAND	TASAND
	UM	TASAND kuni TU995	TASAND kuni TU532	TASAND kuni TU815	TASAND kuni TU779	TASAND kuni TU779	TASAND kuni TU939	TASAND kuni NIVER	TASAND kuni NIVER	TASAND kuni NIVER

Tabel 2. Hajutuste koondtabel rada 26
3 minuti reegel väljuba ja saabuva liikluse vahel

TASAND = kõrgushajutus

	STAR OSKAV 26	SID OSKAV26	SID SUMIM26	SID OSLIK26	SID RISKU26	STAR OSKAV26	STAR SUMIM26	STAR OSLIK26	STAR RISKU26
STAR	STAR OSKAV 26	TASAND kuni TU995	HAUTATUD	HAUTATUD	HAUTATUD	TASAND	TASAND	TASAND	TASAND
	STAR SUMIM26	HAUTATUD	TASAND kuni TU564	HAUTATUD	HAUTATUD	TASAND	TASAND	TASAND	TASAND
	STAR OSLIK26	TASAND kuni BARVU või TU980	TASAND kuni TU564 või TU758	TASAND kuni TU564	TASAND kuni BARVU või TU725	TASAND	TASAND	TASAND	TASAND
	STAR RISKU26	TASAND kuni BARVU või TU980	TASAND kuni TU564 või TU758	TASAND kuni TU564 või TU854	TASAND kuni BARVU	TASAND	TASAND	TASAND	TASAND
SID	SID OSKAV26	TASAND	TASAND kuni TU826 SID OSKAV-i ja TU842	TASAND kuni TU980 ja TU830	TASAND	TASAND kuni TU995	HAUTATUD	TASAND kuni BARVU või TU980	TASAND kuni BARVU või TU980
	SID SUMIM26	TASAND kuni TU980 ja TU830 SID SUMIM-i	TASAND	TASAND kuni TU758 või TU854	TASAND kuni TU842 või TU725	HAUTATUD	TASAND kuni TU564	TASAND kuni TU758 või TU864	TASAND kuni TU564 või TU758
	SID OSLIK26	TASAND kuni TU980 ja TU830	TASAND kuni TU854 või TU758	TASAND	TASAND kuni TU854	HAUTATUD	HAUTATUD	TASAND kuni TU564	TASAND kuni TU564 või TU854
	SID RISKU26	TASAND	TASAND kuni TU842 ja TU725	TASAND kuni TU854	TASAND	HAUTATUD	HAUTATUD	TASAND kuni BARVU või TU725	TASAND kuni BARVU
OOTSISOOMID	ERULI	HAUTATUD	HAUTATUD	HAUTATUD	HAUTATUD	TASAND	TASAND	TASAND	TASAND
	UM	TASAND kuni TU980	TASAND kuni TU758	TASAND kuni TU830	TASAND kuni TU725	TASAND	TASAND	TASAND	TASAND

Not all the possible separations are planned to take into operational use at the beginning. There are two reasons for this decision:

- a) to keep the amount of possible separations as low as possible;
- b) to keep solutions simple.

It has been seen that all the possible separations between all the SIDs/STARs are not needed because of the specifics of the traffic in the region. If there appears the necessity for them later, it is possible to introduce new separations, for example, during annual rehearsal training.

Because of no surveillance, only three P-RNAV IFR aircraft can be handled in EETU terminal area at the same time without constant vertical separation, except for the cases when one of these three is a non-P-RNAV IFR training flight in holding.

Separation by using 8NM spacing

8NM spacing (ICAO standard 7NM separation + 1Nm buffer) is kept by the use of published points during SIDs/STARs; GNSS distance is not accepted.

When determining the position for tactical points on a SID, in a case where SID is crossing STAR (for example ODRUS 08 SID and SUMUK 08 STAR), where there is 4NM spacing for the STAR, but a FIX tolerance of 3NM (includes RNP + safety buffer) has to be added on top of the 4NM spacing.

Separation for holdings

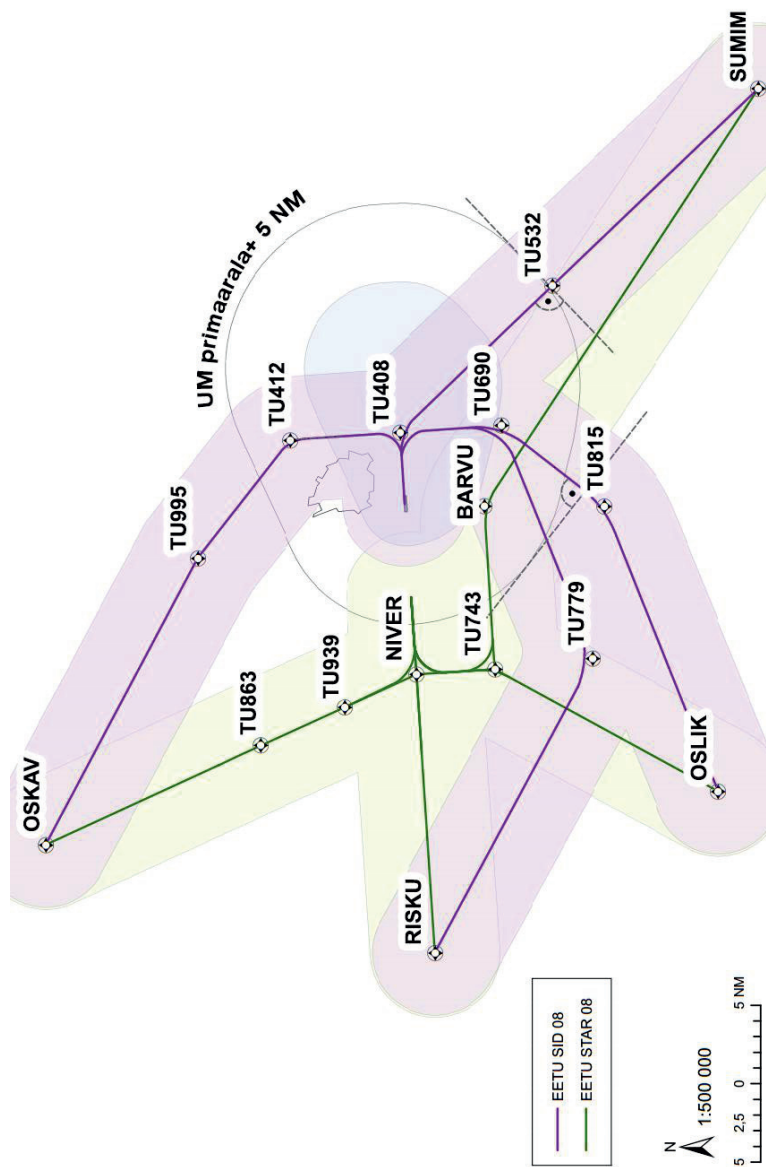
There is no feasible solution for RWY 26 to direct an arriving aircraft to RWY 26 via STARs below UM holding, because it would cause long portions of low flying for inbound IFR.

For RWY 08 the existing STARs and points can be used to separate from UM holding.

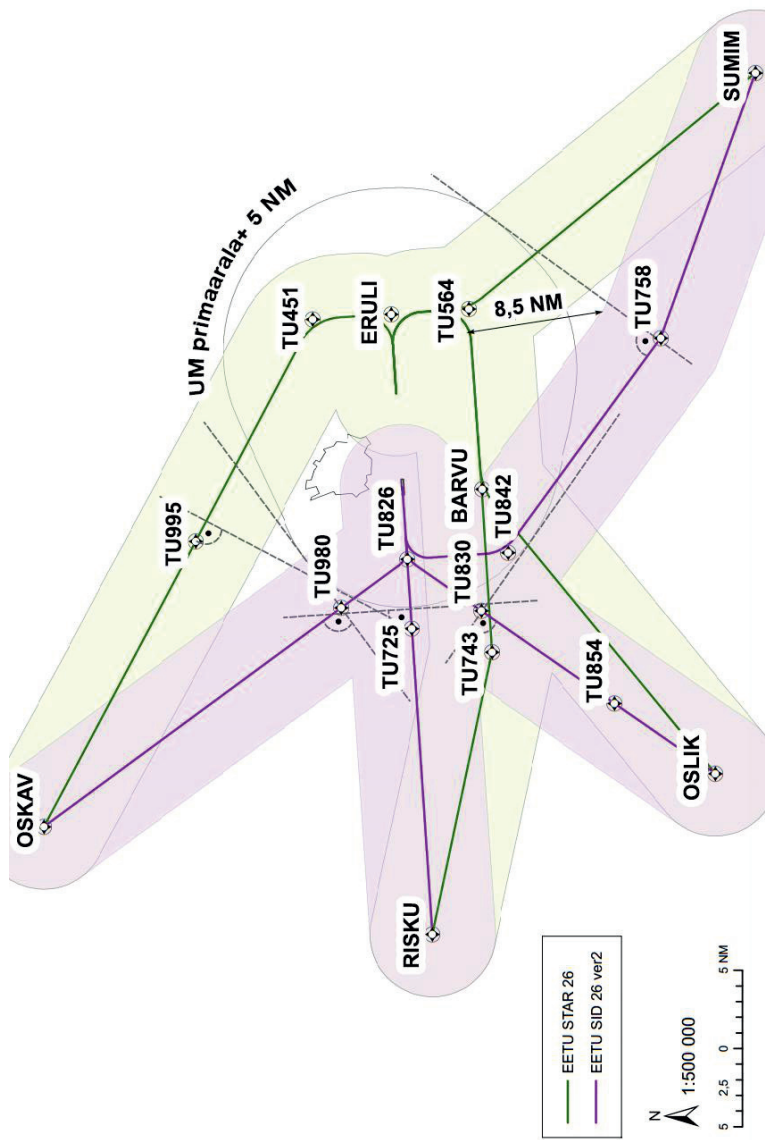
P-RNAV routes are separated, when the buffer areas, for both the holding and the specific route, are not overlapping.

Towards the holding area buffer, the conventional 10NM is used by using published points, not the GNSS distance.

Outbound from holding area buffer (conventional) 5NM is used, again by using published points, not the GNSS distance.



Joonis 1. Rada 08 SID/STAR+4 NM puhver ja UM primaarala + 5 NM puutujad



Joonis 2. Rada 26 SID/STAR + 4 NM puhver ja UM primaarala + 5 NM puutujad

Separation for subsequent departures

Both the aircraft departing for opposite directions via SIDs have to be given climb rate restrictions until the first one has crossed point number two.

Tables 1 and 2 on approved separations are a part of Tartu ATC Unit Local Rules.

Separation for subsequent arrivals

Tables 1 and 2 on approved separations are a part of Tartu ATC Unit Local Rules, indicating the last positions where the arrivals have to be vertically separated.

No timed approaches are planned.

An ATCO can use exact estimate from preceding approach in order to assign the expected approach time for succeeding aircraft.

Separation for departures and arrivals

Tables 1 and 2 on approved separations between SIDs and STARSS will be a part of Tartu ATC Unit Local Rules. The position of arriving aircraft has to be checked by ATCO by using RTE, if spacing between STAR and given SID exists, then standard 3 minute rule for departures vs arrivals has to be used.

In some of the cases the take-off clearance can be withhold until the arriving aircraft has crossed a specific tactical point to reach separation between aircrafts.

Go-Around procedures

As for both the RWY RNAV/GNSS procedures MAHF (missed approach holding fix) altitude is 2000ft and MSA is 2800ft, the procedure to join for new approach is published in Tartu ATC Unit Local Rules.

Environment

Both SIDs and STARs are taking the aircraft outside of Tartu downtown region. By using STARs an aircraft can make a straight approach and thus avoid holding and save flight time. ATCO can provide a more precise estimate for an arriving aircraft and due to that give a more timely start up/taxi clearance to a departing aircraft thus avoiding excess engine ground running.

Overflights using TMA EXIT-ENTRY points

The need for these kinds of overflight routes and separations between them, and P-RNAV SID/STAR has to be analyzed. Spacing/separation minima have to be established in local unit rules which can be done in the same way as described above, should there arise the need for that.

References:

- 1) Doc 7030 - Regional Supplementary Procedures, ICAO, 2008
- 2) Circular 321 - Guidelines for the implementation of GNSS longitudinal separation minima, ICAO, 2010

THE POSSIBILITY OF USING ETHANOL AS A FUEL IN AVIATION

MÄRT KIRIK (BSA, BASc)
ELA lennunduse inglise keele assistent

Keywords: ethanol, aviation fuels

Ethanol is solar energy as liquid fuel. Although petroleum products have the same source of energy they are very different chemicals. Fuels made from petroleum are very complex mixtures of chemicals which are modified by refining to be suitable as motor fuel. On the other hand ethanol is a pure and simple fuel of which the chemical properties are well defined. It is true that an engine designed for gasoline or diesel fuel can be modified to run on ethanol but most such attempts only give ethanol fuel a bad reputation. Flexfuel engines are a compromise at best. An engine must be designed to take advantage of the unique qualities of the fuel it is intended to use.

The first engines to use ethanol as an aviation fuel are model aircraft engines. They are small two stroke diesel engines which use a mixture of ethanol and castor oil with a small amount of ether to initiate ignition. Such engines run very well at 8000 to 10 000 revolutions per minute. The author of this article thus saw at age 14 that ethanol is an excellent motor fuel.

Ethanol as a motor fuel is not a new idea. Fuel alcohol has a long history which is well documented on the internet at:

<http://www.environmentalhistory.org/billkovarik/research/henry-ford-charles-kettering-and-the-fuel-of-the-future/>

Because ethanol is so different from gasoline or jet fuel there is no reason to think that an engine designed to take advantage of the unique qualities of ethanol would use the energy in this fuel with the same efficiency as would an engine designed for petroleum products.

The first quality of ethanol as a motor fuel which allows higher engine efficiency is the fact that it will not detonate on combustion in the engine cylinder up to a compression ratio of 19.5 to 1. Look at the internet site <http://www.americanenergyindependence.com/alcoholengines.aspx>. Below the first paragraph of blue text left click on the title "Economical, High-Efficiency Engine Technology for Alcohol Fuels". Engineers express thermal efficiency as

a percentage of the energy in a fuel which results in doing desired work. Any mechanic knows that a high compression engine is more efficient than a low compression engine and the specification for the engine calls it a compression ratio.

Another quality of ethanol which is a lot different from that of gasoline or jet fuel is the fact that the latent heat of vaporization is three times higher. Reference for such facts is a book published in 1982 as “Ethanol fuels reference guide-a decision-makers guide to ethanol fuels”. The internet address for this book is very long starting as

<http://books.google.ee/books?id=1MScTBsKJmYC&pg=PA108&dq=Agrodyne+Inc.+box+934+Idaho+Falls&so>

It is easier to do a Google search using the words “Agrodyne Inc. box 934 Idaho Falls”.

Piston engines used on light aircraft can use the above quality of ethanol by injecting the fuel into cylinders early in the compression stroke. The heat of compression will then vaporize the ethanol. The vaporization of fuel lowers the temperature of the fuel-air mixture above the piston. Lowering of temperature causes shrinkage of the charge above the piston on the compression stroke and therefore the piston meets less resistance to its motion. That adds substantially to the efficiency of the engine. Because the heat of compression has been used for vaporization there is no energy left for ignition as occurs in a diesel engine so a spark plug must be added.

The third quality of ethanol as a motor fuel which has importance is the low flame temperature. In a piston engine this fuel will not burn valves. Due to the low flame temperature a jet engine designed for ethanol fuel can use low cost light materials in the construction of the engine.

The next property of ethanol which is greatly different from gasoline or jet fuel is the fact that it burns very well with water content as high as 20% by volume. While this is helpful for the operation of a piston engine in a very hot climate it is of greater benefit in jet turbines. The water in ethanol for jet engines adds bulk to the flow of gases against turbine blades. This not only increases efficiency but also lowers flame temperature below that of burning only ethanol in the engine.

While gasoline and jet fuel will change in storage with time ethanol has no such limitation. This has important military implications as well as the advantages of

being a local product. Because in many countries ethanol is a local product the government collects income tax and sales tax several times as the money circulates.

The cost of ethanol production need not be as high as that of beverage alcohol because the engines are not taste sensitive. On the other hand only sugar, starch, or cellulose from a farm crop is used in making ethanol. Protein is a valuable by-product. Farming has been limited by the size of the market. In effect the sales of ethanol as fuel will subsidize the production of a valuable by-product, the protein.

Ethanol as motor fuel adds no greenhouse gases to the global warming process because the vegetation used grows by absorbing the same amount that is contained in exhaust emissions. Ethanol fuel need not be transported long distances. That helps the competitive situation.

Ethanol as motor fuel is able to do all that gasoline and jet fuel has done. Anyone who has soil, water, and sunshine could get into the fuel business if suitable engines were available. That is a serious threat to the petroleum industry but ethanol as motor fuel has some limitations. Ethanol contains 34% less energy than gasoline. To be competitive the engine designed for ethanol must have a thermal efficiency which compensates for the lower energy density of alcohol.

Ethanol is not a lubricant. All mechanical devices that handle this fuel must consider this fact.

Ethanol is used as a component of popular beverages. Drinking any chemical for the purpose of modifying the way one's mind works is in basic principle questionable.

When ethanol burns in bright sunlight the flame is not visible. There is no black smoke. That can be dangerous.

While gasoline and air mixtures are explosive in only very narrow proportions of 2% to 5%, the situation is vastly different when looking at ethanol. Ethanol-air mixtures are explosive from 4% to 13.6 %. It is more dangerous than gasoline in storage. All the problems are solvable and ethanol as motor fuel results in employment and decentralized wealth.