

Eesti Lennuakadeemia

TOIMETISED

Artiklite ja uurimistööde kogumik

Ülenurme 2018

© Eesti Lennuakadeemia 2018

Toimetaja Carmen Ruus

Trükk Paar OÜ

ISSN 2228-2459

Hea lugeja,

Eesti Lennuakadeemia toimetiste käesolevas väljaandes toome Sinuni ülevaate 2016. ja 2017. aastal koostatud aktuaalsematest ja huvitavamatest uurimistöödest.

Viimasel kahel aastal on akadeemias toimunud terve rida olulisi protsesse, algatusi ja sündmusi. Eelkõige tuleb mainida õppekavagruppide kvaliteedihindamise edukat läbimist, mis loob aluse kõrgkooli edasiseks arenguks rahvusvaheliselt tunnustatud lennundusõppeasutusena. Kvaliteedihindamise käigus tehtud eneseanalüüsiga paralleelselt koostati akadeemia arengukava aastateks 2016–2020, millest lähtuvalt jätkub nii õppekorralduse, õppekavade kui rakendusprojektide arendus. Uuendatud on ka rahvusvahelistumise strateegia ning teadus- ja arendustegevuse tegevuskava.

Rakenduskõrgkoolina on akadeemial võimalus ja kohustus osaleda partnerina Eesti lennunduse innovatiivsetes rakendusuuringutes ja -projektides. Seda tegevust kajastab ka käesolev väljaanne – enamik artiklitest on valminud koostöös lennundusettevõtetega ja omavad praktilist suunitlust.

Uurimistööde tulemusena tuuakse välja võimalikke parenduskohti ja uusi protseduure nii ettevõtte kui ka riigi tasandil. Näitena võib esile tuua terve rea valdkondi nagu mehitamata õhusõidukid, SESAR-projekti arendused, kaugjuhitava lennujuhtimistorni prototüübi loomine, raadioside lahendused, lennundusettevõtete finants-, turundus- ja teenindusprobleemid, õhusõiduki ehituse ja hoolduse tehnilised lahendused, lennunduskõrghariduse õppekava arendus ja veel mitmed teised.

Usun, et käesoleva väljaandega anname lugejale positiivse sõnumi ning kindlustunde, et peagi 25-aastaseks saav akadeemia on hea partner lennundusalases arendustöös.

Täna kõiki artiklite autoreid, juhendajaid ning väljaande koostajat ja toimetajat.

Head koostööd ja meeldivat lugemist

Jaanus Jakimenko (MBA)

ELA rektor

SISUKORD

ÜLIÕPILASTE LÕPU- JA UURIMISTÖÖD	6
LENNULIIKLUSTEENINDUS	7
T. Kohv NEFRA piiriülese vabamarsruudi võimalikust mõjust Tallinna terminaliala operatsioonidele	9
M. Leib Eesti Lennuakadeemia lähilennujuhiõpilase käsiraamat	15
M. Litvinov Eesti lennundusraadiosides edastatavate andmete leviku õiguslike aspektide analüüs	22
M. Varblas Tartu kaugjuhitava lennujuhtimistorni kaamerate vaatevälja ja asetuse määramine	27
LENNUNDUSE SIDE- JA NAVIGATSIOONISÜSTEEMIDE KÄITAMINE	34
R. Freimann Transpondri integreerimine mehitamata õhusõidukile	36
T. Tuvikene Laiaribaline testsignaali generaator	41
J. Hainsalu Veebirakendus antenni optimaalse sobitusahela leidmiseks	48
P. Sulamägi TTÜ-Mektory kuupsatelliidi saatja ja draiveri tarkvara	51
ÕHUSÕIDUKI JUHTIMINE.....	545
S. Kuld Eesti lennuakadeemia õpikeskkonna uuring	57
M Mustkivi Cessna 172 õppelendude müra mõõtmine Tartu lennujaama lähialas	60
LENNUNDUSETTEVÕTTE KÄITAMINE	65
A. Suimets Baltikumi lennundusturu analüüs	68
K. Kõrna Praktilise seiresüsteemide koolituse mudeli formuleering ja tasuvusanalüüs	73
L. Rein Eesti Lennuakadeemia õppekavade võrdlus lennunduskõrgharidust pakkuvate Euroopa kõrgkoolide õppekavadega.....	78

K. Kõörna, J. Haldre Lennuhooldussektori majandusmõju uuring	84
ÕHUSÕIDUKI EHTUS JA HOOLDUS	88
A. Lauk Mobiilse testseadme konstrueerimine UAV aerodünaamiliste omaduste analüüsiks	90
H. Saaremäe Purilennuki Blanik L-13 tiivatala tugevdamine	94
S. Luhaorg Pixhawk autopiloodi ühildamine transpondriga	98
K. T. Toome Aircraft teardown area planning for Magnetic MRO in Tallinn Airport.....	103
T. Nerep Turbomeca Artouste IIIB juhtseadme ja õppestendi konstrueerimine	108
N. Jakovlev Jõuallika CJ610 tõstmisrakise ja aluse projekteerimine	113
ÕPPEJÕULT	118
J. Krusealle, P. Pajuste Juhtimise võlu ja valu läbi otsustamise paradigma	119

ÜLIÕPILASTE LÕPU- JA UURIMISTÖÖD

LENNULIIKLUSTEENINDUS

SAATEKS

Lennuliiklusteeninduse osakonna tegevusi mõjutavad tegurid on olnud EL määruse 2015/340 rakendumine ja Euroopa ühtse õhuruumi lennuliikluse korraldamise teadusuuringute programmi juhtplaanis (*Single European Sky Air Traffic Management Research Programme, SESAR*) kajastuvad arendused.

Määrus 2015/340 reguleerib senisest oluliselt üksikasjalikumalt lennujuhtide lubade väljaandmise ja koolitusorganisatsiooni sertifitseerimisega seotud nõudeid. Vastamaks määruks esitatud nõuetele toimus lennuliiklusteeninduse koolitusosakonna protsesside põhjalik analüüs ja seejärel mitmete protseduuride täiendamine ning ka uute koostamine. Olulisemad uuendused on seotud näiteks õppejõudude kvalifikatsioonile esitatavate rangemate nõuetega, aga ka ohutuse juhtimisprotsesside loomisega. Läbiviidud analüüsi tulemusel nägime vajadust pädevusõppes osalejale suunatud käsiraamatu loomise järele. Marleen Leib'i lõputöö on koostatud seda vajadust silmas pidades.

Valdkonna ettevõtetes toimuvates arendusprojektides osalevad meie töötajad ja üliõpilased. Valmistamaks ette Tallinna lennuvälja liiklusalade rekonstrueerimist toimusid meie lennujuhtimise simulaatoris vastavalt muudetud lennujuhtimisprotseduuride testimised. Osakonna töötajad valmistasid ette tarkvara ning osutasid testide toimumise perioodil simulaatori kasutamiseks vajalikke tugiteenuseid.

Vabalt valitavate marsruutidega õhuruumi (Free Routing Airspace – FRA) juurutamine on üks tähtsamaid SESAR-projekte. Lennuliiklusteeninduse AS osaleb Põhja-Euroopa vabamarsruudi õhuruumi loomisel. Projekti teemaga on seotud Teele Kohvi lõputöö, mida tutvustame selles kogumikus.

Lennuliiklusteeninduse AS on koostöös Cybernetica AS-ga alustanud kaugjuhitava lennujuhtimistorni prototüübi loomise projektiga. Selle projekti allaülesande täitmisel valmis Marleen Varblase lõputöö, mis on samuti selles kogumikus esitatud.

Üha enam näitavad üliõpilased üles initsiatiivi lõputööde teemade valimisel püstitades uurimisküsimuse lähtuvalt isiklikust huvist teema vastu. Sellise tööna on kogumikus esitatud Mihkel Litvinovi lõputöö.

Anu Vare

Lennuliiklusteeninduse osakonna juhataja

NEFRA PIIRIÜLESE VABAMARSRUUDI ÕHURUUMI VÕIMALIKUST MÕJUST TALLINNA TERMINALIALA OPERATSIOONIDELE

TEELE KOHV

Juhendaja Rene Käsik, konsultant Jaan Tamm (PhD)

Märksõnad: NEFRA (*The North European Free Route Airspace*), vabalt valitavate marsruutidega õhuruum, Tallinna lähenemisala, lennuvood, optimaalsus

Sissejuhatus

Ühe lennu vältel ületab õhusõiduk keskmise pikkusega vahemaa puhul kümneid teekonnapunkte. Enamikul juhtudel pikendab kohustuslike teekonnapunktide läbimine läbitavat vahemaad. Euroopa Komisjoni 1999. aastal käivitatud projekti Ühtne Euroopa Taevas (i.k *Single European Sky*) käigus loodud funktsionaalsed õhuruumiblokid (edaspidi FAB, i.k *Functional Airspace Block*) ja vabalt valitavate marsruutidega õhuruumid (edaspidi FRA, i.k *Free Route Airspace*) aitavad vahemaad lühendada. Sellises õhuruumis on võimalik punktist A punkti B lendamisel kasutada oluliselt lühemat teekonda. Järgima peab siiski väljumise ja saabumise standardprotseduure, vältima näiteks alasid, mis võivad olla lennutegevusele ohtlikud, ning järgima lennujuhtide lubasid ja keelde. FRA-marsruutide rakendamisel suureneb õhuruumi või õhuruumibloki mahutavus, efektiivsus ja keskkonnasäästlikus ning võib eeldada, et lendamine muutub õhuruumi kasutajatele veelgi mugavamaks ja kasutajasõbralikumaks.

Lõputöö eesmärk on välja selgitada Tallinna lähenemislala (edaspidi TMA) standardprotseduuride punktide asukoha optimaalsus NEFRA keskkonnas ja pakkuda võimalikud uued soodsamad punktid FRA-sobilikku keskkonda. Selleks võrreldakse läbitud vahemaad praegu kasutusel olevate punktide ja uute, autori poolt loodud punktidega, mis on spetsiaalselt leitud NEFRA keskkonna jaoks. Luuakse võrdlusstsenaarium, kus kasutatakse sajaprotsendilist FRA-lennuplaani NEFRA õhuruumis.

Lõputöö metoodika on võrdlev analüüs, mis põhineb suures osas autoripoolisel lennuvoogude uurimisel, võrdlusstsenaariumi loomisel ja analüüsimisel SAAM-programmis, tuginedes peamiselt EUROCONTROLi juhendmaterjalile ERNIP (i.k *European Route Network Improvement Plan*). Lennuvoogudeks kasutatud lennuplaanide andmed ning radade kasutamise statistika põhineb

Lennuliiklusteeninduse ASi ja Tallinn Airport GH ASi konkreetsel teabel, et analüüsi tulemus oleks võimalikult tõetruu.

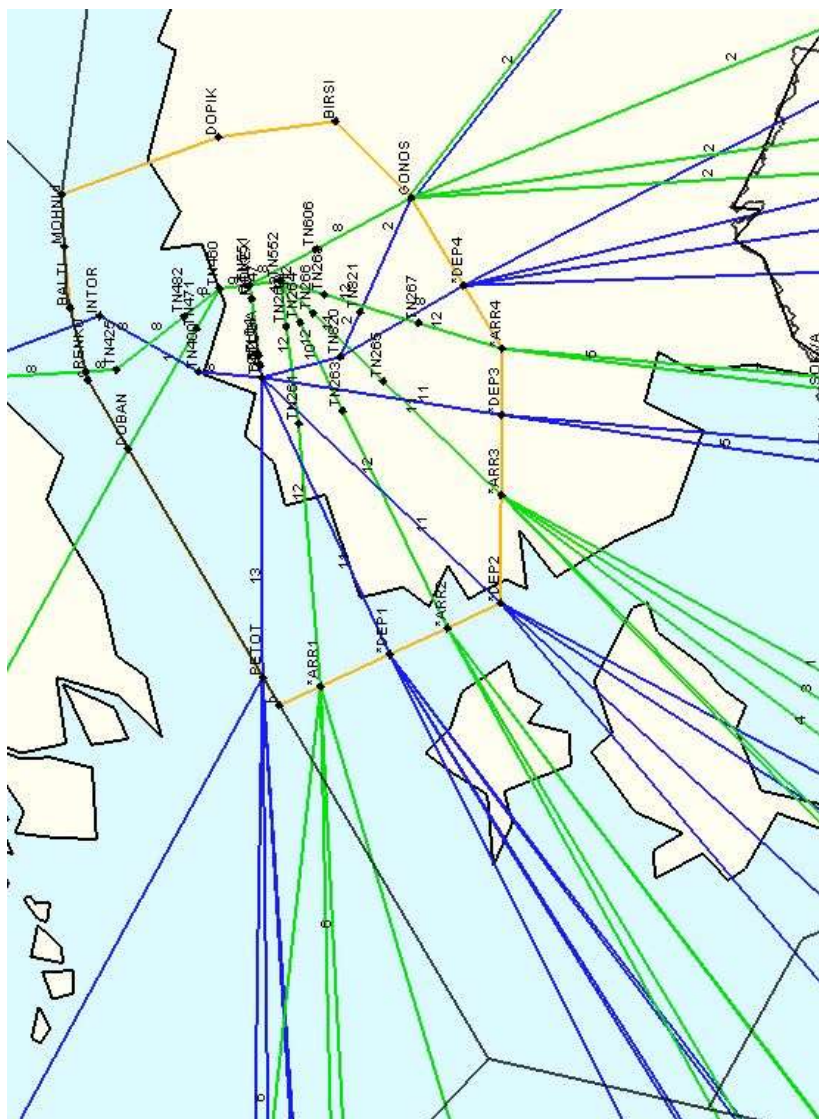
Sisu ja tulemused

NEFRA lennuvoogude mõju leidmiseks Tallinna TMA standardprotseduuridele võttis lõputöö autor kasutusele programmi SAAM, mis võimaldab lennuinfo põhjal lennuvoogusid visualiseerida ja neid analüüsida. NEFRA võrdlustsenaariumiks võeti 2013. a 9. septembri lennuliiklus rajal 26, mille lennuvood sisestati eelpool mainitud programmi. Autor eemaldas lennuoperatsioonid, mida ei ole 2016. aastal liinilendudeks (aastaringseks või hooajaliseks) planeeritud ja IFR-lennud, mis jäid allapoole lennutasandit 95 (EEKA, EEKE). Lisati lennuoperatsioonid aprillikuu seisuga, mida 2013. a ei toimunud, kuid mis käesoleval aastal on planeeritud. Selle alla käivad nii regulaarsed liinilennud (reisijate ja kauba vedu) kui ka hooajalised lennud, mis kestavad vaid paar kuud, kuid on 2016. aastal esindatud.

Standardprotseduuride punktide optimaalse asukoha leidmiseks arvestatakse lennuvoogude kasutamise tihedusega ja standardprotseduuride punkt asetatakse kohta, mida läbib kõige suurema koormusega liiklus. Nimetatud meetodit kasutades leidis töö autor, et kõige praktilisem on TMA lääne- ja lõunapoolsele küljele asetada neli standardse instrumentaalsaabumise (edaspidi STAR) ja neli standardse instrumentaalväljumise (edaspidi SID) punkti, mis on kõik üksteisest eraldiseisvad ning vastavad tänapäeva nõetele. TMA piirile paigutatud punktid koos NEFRA lennuvoogudega on näidatud joonisel 1.

Punktide PETOT, DOBAN, RENKU, BALTI, MOHNI, DOPIK, BIRSI ja GONOS asukohti ja optimaalsust ei muudeta, sest NEFRA lennuvood neid suuresti ei mõjuta. Seetõttu ei arvestata ka mainitud punktidega järgnevates arvutustes. Punktid tähekombinatsiooniga „ARR” tähistavad standardse instrumentaalsaabumise alguspunkti ning punktid tähekombinatsiooniga „DEP” standardse instrumentaalväljumise lõpp-punkti.

Järgnevalt koostas lõputöö autor Microsoft Excelis tabeli, et arvutada välja terminaliala uue konfiguratsiooniga saavutatav võit. Tabelisse märgiti üles kõik praegu kasutusel olevad ja uued standardprotseduuride ning NEFRA piiripealsed punktid, või Tallinnast erineva lennujaama FRA lähte või saabumise ülemineku-punktid. Nende põhjal tehti vajalikud arvutused ja leiti uusi punkte rakendades võimalik aastane võit nii läbitavas vahemaas (NM) ja kütuses (kg) kui ka süsihappegaasi eraldamises (kg).



Joonis 1. Tallinna TMA uute punktide ja NEFRA lennuvoogudega
(Autori joonis)

Reaalse aastase läbitava vahemaa kokkuhoiu arvutamiseks koguti teavet liinilendude lennuplaanide kujul Tallinn Airport GH ASi lennuoperatsioonide osakonnast, kust saadi andmeid erinevate lennuvoogude reaalse kasutajate arvu kohta aastas. Pärast ühe lennuvoo aastase kasutajate arvu leidmist korrutati see päevase kokkuhoiuga. Radade 08 ja 26 arvutus teostati eraldi. Stsenaariumis, kus kasutatakse vaid rada 26, oleks aastane sääst 6386,1 NM. Stsenaariumis, kus kasutusel oleks vaid rada 08, oleks aastane kokkuhoid 41 213,9 NM.

Võttes arvesse reaalselt olukorda, kus rajad vahetuvad kas või ühe päeva jooksul mitu korda, tehti arvutused sõltuvalt ühe raja kasutamise osakaalust. Lennuliiklusteeninduse ASi lennuliikluse analüütik võimaldas statistika radade kasutamise kohta maist 2015 kuni aprillini 2016. Arvutustest lähtudes kasutati mainitud ajavahemikus IFR-lendude poolt rada 08 36,9% juhtudest ja rada 26 63,1% juhtudest. Teades radade kasutamise osakaalu, tehti uued arvutused aastase kokkuhoiu saamiseks, kus rada 08 kasutatakse 36,9% ja rada 26 kasutatakse 63,1% IFR-operatsioonide korral. Reaalne aastane võit uute, autori poolt loodud punktidega oleks 19 237,6 NM.

Järgnevalt arvutas lõputöö autor välja lisaks läbitava vahemaa vähenemisele ka eeldatava kokkuhoiu kütusekulus ja süsihappegaasi eraldamises. Keskmised kütusekulude väärtused põhinevad Vikipeedia andmetel, kusjuures aluseks võeti võimalikult lähedased lennukitüübid Tallinna lennujaamas opereeritavatele lennukitüüpidele. Tallinnas opereeritavad lennukitüübid leiti eelpool mainitud lennuoperatsioonide osakonnast hangitud liinilendude lennuplaane kajastavast failist. Vastandades väljuvate lendude lennukitüübid SID-kasutajate arvuga ja saabuvate tüübid STAR-kasutajate arvuga, kus mõlema puhul on arvestatud radade osakaaluga, saadi iga lennukitüübi võidetud kütusekogus aastas. Liites saadud kogused, leiti kogu aastane kütusesääst, milleks oli 94 605,3 kg. IATA kohaselt toob ühe kilogrammi kütuse säästmine kaasa 3,16 kg süsihappegaasi vähenemise. Seega väheneks autori poolt loodud punktide rakendamisel süsihappegaasi eraldamine 298 952,6 kg võrra aastas.

TMA-konfiguratsiooni muutmine mõjutab ka ohutust. Varem tekkisid konfliktid kohad FIR- ja TMA-piiri lähistel SULUN ja LONSA liikluse vahel. Lennuvoogude visualiseerimisel uute standardprotseduuride punktidega saab samuti täheldada konflikteid kohti, kuid need on liikunud tunduvalt edela poole. See tähendab, et TMA uue konfiguratsiooni rakendamisel on lennujuhil rohkem aega planeerimiseks ja konfliktidele reageerimiseks.

Kokkuvõte

Lõputöö eesmärgiks on välja selgitada Tallinna TMA standardprotseduuride punktide asukoha optimaalsus ja leida uued soodsamad punktid NEFRA lennuvoogude jaoks, võttes aluseks EUROCONTROLi juhendmaterjalis ERNIP kirjeldatud TMA ülesehituse põhimõtted. Selleks kogus autor lennufirmade esitatud lennuplaane, mille alusel genereeris uued lennuvood programmis SAAM. Lennuvoogude tsentraliseerimise tulemusena saajaprotsendilises FRA-keskkonnas leiti optimaalsed asukohad standardprotseduuride punktidele, arvestades seejuures kõige tihedamalt kasutatavate lennuvoogude vahetu lähedusega. Viidi läbi võrdlus kasutusel olevate ja loodud punktide rakendamisel läbitava vahemaa suhtes, mille käigus leiti, et uute punktide rakendamise korral võidetakse 19 237,6 NM, 94 605,3 kg kütust ja 298 952,6 kg süsihappegaasi ühe aasta jooksul. Arvutused põhinevad statistikal, et radade 08 ja 26 kasutamise osakaal on vastavalt 36,9% ja 63,1%.

Analüüsi tulemus kinnitab, et NEFRA piiriülese vabade marsruutide õhuruumi lennuliiklus mõjutab Tallinna lähenemisala operatsioone. Töös tõestatakse, et FRA-keskkonnas oleks mõistlik TMA sisenemis- ja väljumispunkte muuta. Lisaks saavutatavale kokkuhoiule esineksid võimalikud konfliktid FIRis tõhusamates asukohtades, ehk lennujuhile jääks rohkem aega reageerimiseks ja planeerimiseks. Autor arvab, et arvatatud aastase kokkuhoiu suurust ja NEFRA lennuvoogude asetust arvestades tasub plaani võtta Tallinna TMA standardprotseduuride ja nende punktide optimeerimine FRA laialdasemal kasutamisel.

T. Kohv. *NEFRA piiriülese vabamarsruudi õhuruumi võimalikust mõjust Tallinna terminaliala operatsioonidele: lõputöö, juhendaja Rene Käsik, konsultant Jaan Tamm (PhD). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2016.*

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 18 allikat.

SUMMARY

THE POSSIBLE EFFECTS OF NEFRA AIR TRAFFIC ON THE OPERATIONS OF TALLINN TERMINAL CONTROL AREA

Keywords: NEFRA (The North European Free Route Airspace), free route airspace, Tallinn terminal area air traffic flow, optimality

This graduation thesis focuses on NEFRA air traffic and its possible effects on optimality of Tallinn terminal area and standard procedure points. Although FRA has been in use for almost half a year, no one has done any research into its optimality yet. However, that question can arise in the future, when the usage of FRA grows. Therefore, the author seeks an answer to the question relating to the optimization of SID and STAR procedures in the preliminary phase of FRA establishment.

The purpose of this thesis is to ascertain whether the SID and STAR procedure points are at optimum location after the establishment of NEFRA, and if not, the potential savings are calculated if new points were to be used. The author compares the distance flown today with the distance using the points the author developed for NEFRA environment. A reference scenario, where all the flights use FRA flight plans in NEFRA environment and where there are no ATC routes, has been created.

The methodology used in the thesis is comparative analysis which consists of the description and specification of FRA and the analysis of the SID and STAR procedure points in use and the points the author developed. The main actions taken concern renewing traffic flows according to flight plans, measuring the changed distances and calculating total savings in nautical miles, fuel and emissions in case new points were to be used. The EUROCONTROL document ERNIP and the information and statistics received from EANS and Tallinn Airport GH AS were utilized to complete the thesis.

On the basis of the research, the author is convinced that the new points for SID and STAR procedures in NEFRA environment is a good way to save time, fuel and environment. The total savings form almost 0,40% of the savings NEFAB FRA establishment assumed to gain. It can be said that the amount is considerable reaching 19 237.6 NM in distance saved, 94 605.3 kg in fuel saved and 298 952.6 kg in carbon dioxide emissions declined. The author recommends EANS to consider revising the SID and STAR procedures when FRA flight plans are to be used by a larger number of operators.

EESTI LENNUAKADEEMIA LÄHILENNUJUHIÕPILASE KÄSIRAAMAT

MARLEEN LEIB
Juhendaja Kristjan Kõrgesaar

Märksõnad: lähilennujuhtimine, käsiraamat

Sissejuhatus

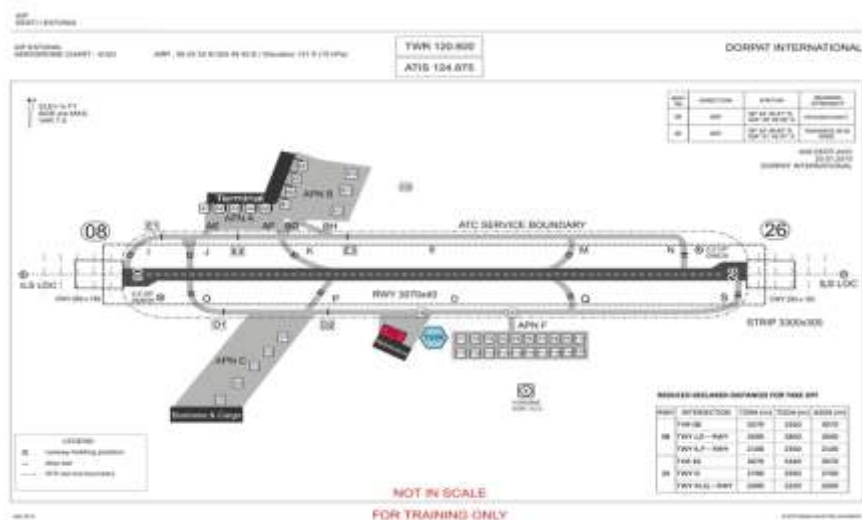
Vajadust simulaatorõpet toetava käsiraamatu järele tundis töö autor lähilennujuhi pädevusõppes osaledes. Simulaatorõppe ajal töötab üliõpilasega mitu erinevat instruktorit, kes kõik on töötanud erinevates keskkondades ning seetõttu on neil erinevad vaated, lahendused ja nõudmised. Erinevused pole küll kardinaalsed, kuid piisavad selleks, et õpet alustavat üliõpilast segadusse ajada. Käsiraamat, mis on eesti keeles, lihtsustab mõningal määral õppeprotsessi, sest emakeeles on alati kõik arusaadavam, samas kui inglise keeles võivad mõned asjad rohkem selgitamist vajada. Kui keegi puudub loengutest, on tal võimalus kodus õppida käsiraamatust, kus on reeglid ja juhised detailsemalt lahti kirjutatud, lisatud kommentaarid ning raadioside näidised. Käsiraamatut on võimalik kasutada ka harjutuste toimumise ajal, et leida kiirelt vastus tekkinud probleemile. Samuti on käsiraamatut väga mugav kasutada lõpuksamiteks õppides, sest kõik materjal on ühes kohas koos.

Käsiraamat sisaldab kogu teooriat, mida lähilennujuhiõpilane edukaks õppetööks vajab. Sealhulgas on esitatud olulisemad mõisted, näiteid raadiosidest, illustatsioonid liiklusolukordadest. Materjalid on jaotatud kahte peatükki. Lõputöö esimene peatükk kirjeldab lugejale, mis on lennuliiklusteenindus ning millised ülesanded on lähilennujuhil. Käsiraamatule pühendub täielikult lõputöö teine peatükk. Esimeses alapeatükis saab lugeja tutvuda käsiraamatu vajalikkuse põhjendustega. Käsiraamatu koostamise meetoodikast, dokumentidest ja seadusandlusest saab lugeja ülevaate teises alapeatükis. Seejärel tutvustatakse lugejale käsiraamatu sisu ja ülesehitust ning viimasena tutvustatakse lugejale kuidas käsiraamatut kasutatakse. Koostatud käsiraamat on täismahus esitatud lõputöö lisana.

Sisu ja tulemused

Lõputöö raames koostatud käsiraamat on mõeldud lähilennujuhtimise pädevuseõppes osaleva üliõpilase õppeprotsessi toetamiseks. Lähilennujuhtimisüksus teostab lennujuhtimist lennuväljade vahetus läheduses, stardi-/

maandumisrajal ning ruleerimisteedel. Õppetöö otstarbel on simulaator-keskkonnas loodud Dorpati lennuväli, mida reaalses maailmas olemas ei ole. See imiteerib üldjoontes Tallinna lennuvälja. Dorpati lennuvälja asukoht on peaaegu sama Tallinna lennuväljaga: mõlemal lennuväljal on üks rada kurssidega 080 ja 260, mõlemad on piiritletud ühelt poolt linna, teiselt poolt elurajooniga ning lennuraja 080 alguses on suur järv. Dorpati lennujuhtimistorn asub rajast lõunas sarnaselt Tallinna lennujuhtimistorniga. Dorpati lennuväljal on rohkem perroone – reisijate terminal asub kahel perroonil nimega A ja B, cargoterminal perroonil C ja väikelennukite perroon kannab nime F. Lisaks on Dorpati lennuväljal kolm spetsiaalset kopteri stardi-/maandumisplatsi. Seetõttu on Dorpati lennuväljal rohkem ruleerimisteid ning ka liiklusmaht on tunduvalt suurem võrreldes Tallinnaga. Dorpati lähiala sisenemispunktidest pooled (kaks) kannavad Tallinna lähialaga sama nime. Dorpati lennuväljal osutab teenust Dorpat TWR (Dorpat Torn) Dorpati lennuvälja läheduses (10 miili raadiuses finaali lähenemissuundades, 7 miili raadiuses lõuna ja põhja suunas) kuni 1700 jala kõrguseni. Lähilennujuhtimise teostamiseks on vajalik visuaalne kontakt õhusõidukiga ja seetõttu juhib lähilennujuht lende lennujuhtimistornis.



Joonis 1. Dorpati lennuvälja kaart

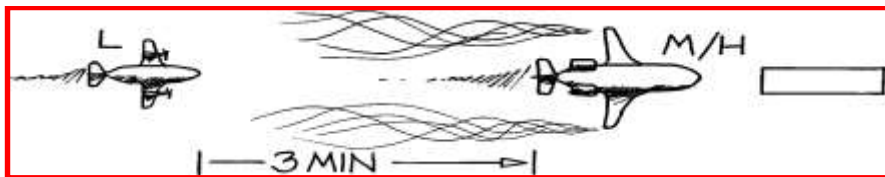
Käsiraamatu koostamisel on arvestatud Majandus- ja kommunikatsiooniministri määruse nr 13 „Aeronavigatsiooniteenuse osutaja sertifitseerimise tingimused ja kord” Lisaga 5, mis sätestab nõuded lennuliiklusteenindust osutavale ettevõttele ning paneb paika nõuded lennuliiklusteenuse osutamise käsiraamatule. Määruse 13 Lisa 5 ütleb, et igal lennuliiklusteenuse osutajal peab olema koostatud lennuliiklusteenuse osutamise käsiraamat, mis on mõeldud lennujuhtimisteenust osutavatele töötajatele kasutamiseks ja juhendumiseks. Käsiraamat peab sisaldama lennujuhtimises kasutatavaid protseduure lähtudes siseriiklikust seadusandlusest ning 1944. a Chicago rahvusvahelise tsiviillennunduse konventsiooni lisadest 2 ja 11 ning Doc 4444st (PANS ATM). Määrus näeb ette ka käsiraamatu struktuuri.

Kuna eelpool nimetatud standard on kehtiv suurele lennuliiklusteeninduse osutajale, on Dorpati lähilennujuhi käsiraamatu koostaja välja valinud neist vaid lähilennujuhtimise osutamiseks olulisemad osad. Määrus on võetud eeskujuks, kuid koolituse seisukohalt on koostatud käsiraamat kohandatud vastavalt õppeprotsessile. Koolituskäsiraamat ei saa olla võrdeline operatsioonilise käsiraamatuga, sest koolituskeskkonnas kasutatav käsiraamat peab sisaldab endas rohkem näited, selgitusi reeglite mõistmiseks ning jooniseid.

Lisaks on käsiraamatu koostamisel kasutatud õppeaine AT.A.041 Lähilennujuhtimine õppekava, mis on koostatud vastavalt Euroopa Liidu (EL) komisjoni määruses 2015/340 sätestatud ettekirjutustele. Komisjoni määrusega (EL) 2015/340 kehtestatakse lennujuhtide lubade ning Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määruse (EÜ) nr 216/2008 kohaste sertifikaatidega seotud tehnilised nõuded ja haldusmenetlused. Seega on aine õppekava väga heaks algmaterjaliks pädeva käsiraamatu koostamiseks. Käsiraamat on koostatud sama struktuuriga nagu aine õppekava. See tähendab, et käsiraamatu peatükkide ülesehitus on samas järjekorras õppeaine AT.A.041 Lähilennujuhtimine õppekava teoreetiliste osadega. Käsiraamatu koostamisel on kasutatud mitmete õppejõudude materjale, dokumente PANS-ATM, SERA ja Marika Kisandi lennundusfraseoloogia õpikut.

Alljärgneval joonisel on toodud näide käsiraamatu sisust.

- Kui maanduva raske või keskklassi õhusõiduki järel tuleb maanduma kergklassi õhusõiduk, peab nende vahel kasutama 3-minuti keerisjäljahajutust.



Joonis 3. Väljavõte käsiraamatust

- Pane tähele, et *touch-and-go*'d tegev õhusõiduk tõuseb õhku raja keskelt.
- Pane tähele, et sama kaalukategooria õhusõidukite vahel keerisjäljehajutust ei kasutata.

Autor soovib jagada üliõpilastele isiklikud käsiraamatud, kuhu oleks võimalik teha märkmeid vastavalt vajadusele. Lisaks on saadaval ka interneti versioon Moodle keskkonnas, mida on väga mugav kasutada, sest tänapäeval on enamikul üliõpilastest olemas nutiseadmed, millega käsiraamatu faile avada. Online versioon on hea ka seetõttu, et seda on võimalik reaalajas muuta ning vajaminevaid täpsustusi, uusi reegleid või muudatusi on lihtne sisestada.

Kokkuvõte

Lõputöö raames koostati käsiraamat Eesti Lennuakadeemia lähilennujuhiõpilastele edendamaks nende õppevõimalusi ning uskudes, et see parandab õpilaste pädevusõppe tulemusi.

Valminud käsiraamat koosneb kümnest peatükist, millest esimene käsitleb üldteadmisi, järgmised kaheksa peatükki keskenduvad simulaatorõppele vastavalt õppekavas esitatud teemadele ning viimane, kümnes peatükk, sisaldab endas mõisteid. Käsiraamatust leiab kogu lähilennujuhtimise teooriamaterjali, raadiosidenäiteid, illustratsioone reeglitele ning autori omapoolseid märkusi. Vajadus käsiraamatu järele oli suur, sest varasemalt puudus lennujuhiõpilastel seesugune õppematerjalide kogum, mida saaks kasutada õpingute ajal ning eksamiteks valmistumisel. Samuti hoiab seesugune käsiraamat ära segadused reeglite mõistmisel.

Lõputöö autor soovib Eesti Lennuakadeemia lennuliiklusteeninduse osakonnal koostada käsiraamatud ka üliõpilastele, kes soovivad omandada radari või piirkondliku lennujuhi pädevust.

M. Leib. *Eesti Lennuakadeemia lähilennujuhiõpilase käsiraamat: lõputöö,* juhendaja Kristjan Kõrgesaar. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 14 allikat.

SUMMARY

HANDBOOK FOR AERODROME CONTROLLER STUDENTS AT ESTONIAN AVIATION ACADEMY

Keywords: aerodrome control, handbook

To provide assistance in training of air traffic controllers at Estonian Aviation Academy, the author of the graduation thesis has compiled a “Handbook for Aerodrome Controller Students at Estonian Aviation Academy” to facilitate the learning process of ab initio controllers.

The handbook compiled by the author has a lot of advantages. It is in Estonian, which simplifies the learning process – everything is clearer in the mother tongue. If somebody misses the lecture, he/she can cover the missed part himself/herself because the handbook comes with more detailed explanations, guidelines and even examples from radiotelephony. Moreover, everybody has their own handbook, which means they can make notes into it. In addition, there is an online version of the handbook available in the Moodle environment, which is very convenient to use as today the majority of students has their smartphones with them. The online version is good because it is possible to change it in real time, when there is a need for refinements. Instructors can easily enter new rules or make changes. If there is a handbook, all the rules are in one place and it can be used during the exercises in the simulator to find the answer to the problem more quickly. Also, it is more convenient to study for the exams because all the materials are in one place. Of course, all the other documents like Doc 4444 or SERA are very important for an air traffic controller, but they are both very voluminous and it takes more time to find the answer when compared with the handbook. The handbook contains all the theory that an air traffic controller student needs for successful training. This includes examples of radio communication and illustrations of traffic situations.

The handbook has been compiled using the instructors’ teaching materials, documents like PANS-ATM, SERA and “Lennundusfraseoloogia õpik” (Textbook of Radiotelephony Phraseology) by Marika Kisand. The author of the

thesis considered also the regulations that establish the requirements for the air traffic service provider and the air traffic service handbook.

The graduation thesis consists of two chapters. The first chapter of the thesis describes the purpose of air traffic control and the duties of an aerodrome controller. The second chapter addresses the handbook. In the first section of the second chapter the reader learns why there is a need for that kind of a handbook. The overview of the methodology, documentation and legislation is given in the second section. The third section presents the content and structure of the handbook and the fourth discusses how and what this handbook is used for.

In conclusion, the aim of the handbook is to support the theoretical learning of an aerodrome controller student. The handbook can be used at the beginning of theory lessons, during simulator exercises and finally when preparing for the examination. The handbook is available both in print and online. It is structured according to the curriculum of the subject *AT.A.041 Aerodrome Control* to support and enhance the learning process and improve the results of the students. The handbook consists of ten chapters.

EESTI LENNUNDUSRAADIOSIDES EDASTATAVATE ANDMETE LEVIKU ÕIGUSLIKE ASPEKTIDE ANALÜÜS

MIHKEL LITVINOV
Juhendaja Kert Kotkas (MSc)

Märksõnad: raadioside, pealtkuulamine, levitamine, delikaatsed andmed, raadiovastuvõtja

Sissejuhatus

Eestis on lennunduse raadioside sisu levitamine kolmandatele isikutele seadusega keelatud. Antud lõputöö eesmärgiks on uurida, mis on selle põhjused, kuidas võiks selle lubatuks muuta ning mida tuleks muudatuste tegemisel arvesse võtta. Mitmes Euroopa riigis ja Ameerika Ühendriikides on juba mitu aastat olnud spetsiaalseid veebilehekülgi, kus inimesed saavad pilootide ja lennujuhtide ning ka maapealsete jaamade sidet pealt kuulata ja seda täiesti seaduslikult. Lõputöös uuritakse välisriikide seadusi ja regulatsioone lennunduse raadioside pealtkuulamise keelamise või lubamise kohta. Samuti viiakse läbi lennundustöötajate küsitlus, millega uuritakse nende kokkupuuteid ja teadmisi antud teemal. Küsitluse eesmärgiks on teada saada, mida arvavad lennundustöötajad lennunduse raadioside pealtkuulamise võimalikkusest ja selle seaduslikkusest.

Selle lõputöö eesmärk on pakkuda välja võimalused, kuidas saaks eelmainitud tegevust ohutult ja seaduslikult teostada. Lõputöö tulemusena toob autor välja lahendused lennunduse raadioside pealtkuulamise reguleerimiseks.

Lõputöö metoodika on võrdlev analüüs, milles uuritakse isikuandmete kaitse seaduste mõju, välisriikide tegevuste erinevusi võrreldes Eestiga, küsitlusest ilmnenu tegelikku olukorda ning lennundusregulatsioonide mõju lennundus-raadioside pealtkuulamisele.

Sisu ja tulemused

Lennundusraadioside pealtkuulamisele ja levitamisele lahenduste välja-töötamiseks viis autor läbi lennundustöötajate küsitluse, mille eesmärgiks oli teada saada nende arvamus Eesti lennundusraadioside pealtkuulamise ja levitamise kohta, nende teadlikkus hetkel Eestis kehtivatest seadustest antud teema kohta. Selleks, et saavutada võimalikult suur vastajate arv, saatis autor küsimustiku mitmesse lennundusettevõttesse ja ametisse palvega see oma töötajatele edasi saata. Lennundusraadioside teemaga puutuvad põhiliselt kokku

lennujuhid ja piloodid ning küsimustikule vastajatest oli nende kahe eriala osakaal ka kõige suurem.

Võrdleva analüüsi tulemustest lähtudes saab järeldada, et hetkel ei ole Eestis lennunduse raadioside pealtkuulamist ja levitamist puudutavad seadused omavahel kooskõlas, mis tuli välja ka küsimusest inimeste teadlikkuse kohta antud tegevuse seaduslikkuse osas. Seega on vaja midagi ette võtta sellega seonduvate seadustega, raadiovastuvõtu seadmete müügiga või lennujuhtide ning pilootide koolitamisega.

Välja pakutud lahendused on järgnevad:

1. Lisada seadusesse mõnele sagedusele lülitumise keeld

Üks lahendustest oleks lisada elektroonilise side seadusesse (ESS) lennunduse raadioside sageduste pealtkuulamise keeld. Sellise seaduse kohaldamine oleks oma rakendatavuse poolest ebaotstarbekas, sest tuvastada või avastada inimesi, kes raadiosidet pealt kuulavad, on keeruline. Samuti arvestades, et paljud inimesed on kõnealuse tegevusega juba pikalt tegelenud ja kuna välisriikide näite põhjal võib väita, et antud selline pole ka ohtlik, oleks ebaõiglane nende tegevusele piir tõmmata.

Samuti oleks soovitatav kõikidel raadiojaamade ja raadiovastuvõtujaamade edasimüüjatel lisada seadmetele, mis võimaldavad kasutada lennundussageduste vahemikke (118–137 MHz), teade, milles viidatakse uuele kohaldatud seadusele, mis keelab lennundusraadioside pealtkuulamise.

2. Loobuda piiramistest

Töö autori poolt alternatiivselt välja pakutud ning autori enda eelistatud lahenduseks oleks loobumine lennunduse raadioside pealtkuulamise ja selle levitamise osas kõikidest juriidilist laadi piirangutest. Nagu töö koostamisel teostatud uurimusest selgus, on selline lahendus rakendatud Ameerika Ühendriikides, Rootsis, Norras, Lätis, Leedus ja ka mitmes teises Euroopa riigis. Taolisi juhtumeid, kus eelnimetatud riikides oleks raadioside pealtkuulamine muutunud iseseisvaks ohufaktoriks, autor oma uurimuse käigus ei tuvastanud.

ESS § 22 lg 2 teine lause sätestab, et kolmandatel isikutel on keelatud hankida raadioside saladust, välja arvatud seadusega sätestatud juhtudel. Seega on ESS §22 sisu muutmata võimalik mõne teise seadusega eelmainitud keeldu eemaldada. Sellest olukorrast lähtuvalt oleks otstarbekas lisada lennunduse seaduse (LennS) § 23¹ (lennunduse raadioside luba ja lennunduse raadioside

reeglid) koosseisu täiendavad lõiked. Hetkel kehtiv LennS-i redaktsiooni § 23¹ sisaldab kokku 6 lõiget.

Üks lisatavatest lõigetest (võimalik LennS § 23¹ lg 7) peaks sisaldama deklaratsiooni selle kohta, et lennunduse raadiosidele ei laiene elektroonilise side seaduse § 22 lõikes 2 sätestatud raadioside saladus ning selle hankimise ja levitamise keeld.

Teine lisatavatest lõigetest (võimalik LennS § 23¹ lg 8) peaks volitatud lennunduse raadioside pidajate kaitseks sätestama, et taoline sidepidaja (lennujuht või piloot) ei kanna vastutust olukorra eest, kus ta on sunnitud oma tööülesannete korrektseks täitmiseks edastama raadiosides (mille pealtkuulamine ei ole piiratud) delikaatseid isikuandmeid (näiteks pardal haigestunud reisijat maa peal vastu võtva meditsiinilise abi tellimiseks).

Võimalike kolmandatest isikutest andmesubjektide kaitseks tuleks kaaluda võimaliku lisatava LennS § 23¹ lg 8 teises lauses taolise piirangu sätestamist, mis lubaks delikaatseid isikuandmeid lennunduse raadiosides teadvalt edastada üksnes sundolukorra (PAN–PAN–PAN) või hädaolukorra teadete (MAYDAY–MAYDAY–MAYDAY) puhul.

Lisaks lennundusseaduse võimalikule täiendamisele soovitab töö autor raadioside pealtkuulamist keelavatest regulatsioonidest loobumisel rakendada isikuandmete leviku kaitseks neid sisaldava informatsiooni edastamisel kasutada CPDLC (*Controller–Pilot Data Link Communications*) andmesidevahetust lennujuhi ja piloodi vahel. Nimetatud rakendus välistab delikaatsete andmete kättesaadavuse kolmandatele isikutele. Lisaks võiks lennundusraadioside pealtkuulamise seaduslikkuse puhul viia lennujuhtidele ja pilootidele läbi koolitusi, milles käsitletak delikaatsete (isiku)andmete olemust ja nende käsitlemist puudutavaid nõudeid.

Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks oli anda ülevaade lennunduse raadioside pealtkuulamise ja levitamisega seotud regulatsioonidest Eestis; uurida, mida arvavad selle tegevuse seaduslikkusest lennundustöötajad ise ning pakkuda lahendusi selle valdkonna paremaks ja selgemaks reguleerimiseks. Probleemiks hetkel on Eesti lennundusraadioside pealtkuulamist mõjutavad seadused, mis pole omavahel kooskõlas ja tekitavad kahtlusi. Täpsemalt, hetke seaduste kohaselt ei ole täielikult selge, kas lennundusraadioside pealtkuulamine ja/või selle levitamine avalikult on seaduslik või mitte.

Selle lõputöö raames analüüsiti töös uuritud erinevaid alateemasid, milleks olid Eesti raadiosidet käsitlevad regulatsioonid, lennundustöötajate seas läbi viidud küsitluse tulemuste analüüs ning välisriikide seadused antud teema kohta. Lennundustöötajate seas läbi viidud küsitluses osales 67 inimest, kellest suurema osa moodustasid lennujuhid ja piloodid.

Võrdleva analüüsi tulemusena pakuti välja lahendused lennundusraadioside pealtkuulamise reguleerimiseks Eestis, et see oleks üheselt mõistetav kõikidele asjaosalistele. Üheks lahenduseks oleks lisada seadusesse lennundusraadioside sagedusele lülitumise keeld. Teiseks lahenduseks oleks loobuda raadioside pealtkuulamist keelavatest piirangutest ja võtta eeskju välisriikidest, kus pealtkuulamine ja levitamine on seaduslik.

Autori hinnangul oleks väljapakutud lahendustest mõistlikum variant loobuda piirangutest, sest teostatud uurimuse käigus ühtki ohuaspekti, mille reaalseks vältimiseks piisaks üksnes raadioside pealtkuulamise keelustamisest, ei tuvastatud. Samas, selleks et vähendada delikaatsete andmete levikut kolmandatele isikutele, oleks soovitatav lennujuhtidele ja pilootidele läbi viia vastavaid koolitusi.

M. Litvinov. *Eesti lennundusraadiosides edastatavate andmete leviku õiguslike aspektide analüüs:* lõputöö, juhendaja Kert Kotkas (MSC). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 25 allikat.

SUMMARY

ANALYSIS OF LEGAL ASPECTS OF AIR TRAFFIC COMMUNICATIONS MONITORING AND BROADCASTING IN ESTONIA

Keywords: air traffic communications, monitoring, broadcasting, personal data, radio receiver

The purpose of this graduation thesis is to examine the current situation in air traffic communications monitoring and broadcasting in Estonia by focusing on legal aspects of this activity. Air traffic monitoring has been a subject of interest for a lot of aviation enthusiasts for a long time and many countries in the world have adapted their laws in order for this to be legal. So far, in Estonia, this activity has not been properly or clearly regulated by the authorities. The laws which regulate the subject matter are mostly contradictory to each other.

Moreover, the author aims at making suggestions about the methods of how to properly regulate the laws which impose restrictions on air traffic communications monitoring or broadcasting in Estonia. By following the solutions proposed, Estonian laws of air traffic communications monitoring will be explicitly understood by everybody involved.

The graduation thesis set three questions based on the purpose:

1. What are the risks involved in monitoring of air traffic communication when it is accessible to the public?
2. What do the people who work in aviation think about the legal possibility of monitoring air traffic communications?
3. How would it be possible to regulate the monitoring and broadcasting of air traffic communication so that it would be safe and explicitly understood by everyone involved?

The thesis consists of five chapters. Chapter 1 describes the laws which regulate air traffic communications monitoring in Estonia. Chapter 2 introduces the laws that regulate the protection of personal data in Estonia. Chapter 3 gives an overview of the laws in other countries, where air traffic monitoring is legal and where it is not. Chapter 4 discusses the results of the survey conducted among people who work in aviation. Chapter 5 analyses and proposes solutions to how to regulate air traffic communications monitoring in Estonia.

Based on the research and survey conducted, the author has drawn the following conclusions:

- In Estonia air traffic communications monitoring and its laws are not compatible with each other.
- One of the solutions to this would be to add a regulation that would clearly prohibit people from monitoring and broadcasting air traffic communications.
- The other would be to annul a paragraph in the law in order for air traffic communications monitoring to be a legal activity in Estonia.

TARTU KAUGJUHTITAVA LENNUJUHTIMISTORNI KAAMERATE VAATEVÄLJA JA ASETUSNURGA MÄÄRAMINE

MARLEEN VARBLAS

Juhendaja Allan Tart, konsultandid Lauri Laasik ja Martin Tärn

Märksõnad: kaugjuhitav lennujuhtimistorn, kaamera vaatevälja ulatus ning asetusnurk, Tartu lennuväli

Sissejuhatus

1999. aastal algatati Euroopa Liidu ning EUROCONTROLi ühine ettevõtmine nimega Ühtne Euroopa Taevas, mille üldeesmärgiks on lennuliikluse korraldamise ning aeronavigatsiooniteenuste kvaliteedi tõstmine. Euroopa riikide ühise ettevõtmise tehnoloogilist ja tööstuslikku poolt haldab projekt SESAR (*Single European Sky ATM Research*), mille üheks tehnoloogiliseks uuenduseks lennuliiklusteenuse osutamise arendamiseks ja regionaal-lennuväljade kulude haldamiseks on kaugjuhitava lennujuhtimistorni süsteem – *remote tower*.

Kaugjuhitav lennujuhtimistorn on süsteem, mille puhul on võimalik lennujuhtimisteenust pakkuda distantsilt, lennuväljal füüsiliselt viibimata. Eesti aeronavigatsiooniteenuste pakkuja, Lennuliiklusteeninduse AS-i ning Cybernetica AS-i koostöös luuakse Tartusse kaugjuhitava lennujuhtimistorni prototüüp. Tartu õhuruumi liiklusest moodustavad põhilise osa õppe- ja treeninglennud. Lõputöö eesmärgiks oli määrata Tartu kaugjuhitava lennujuhtimistorni süsteemis kasutatavate kaamerate optimaalne vaateväli ning asetusnurk vastavalt Tartu lähi- ja lähenemisala piiridele ja protseduuridele.

Sisu ja tulemused

Kaamerate vaatevälja ulatuse, positsiooni ning asetusnurga määramisel on aluseks võetud Lennuameti lennuväljade osakonna lennujuhtimise käsiraamat, Tartu lennuvälja ja lennujuhtimise protseduurid ning kaugjuhitava lennujuhtimistorni nõuded. Arvesse võeti ka Tartu lennujuhtimisüksuse lennujuhtide nõudmisi, arvamust ning soovitusi.

Maaapealne kaamerapildi katvus ehk vaateväli laiendati vastavalt eeskirjadele, lennujuhtide nõudmistele ja soovitudele järgmiselt:

- rada 08/26 täies ulatuses, lisaks lennuriba osa (60 m),
- ruleerimistee A täies ulatuses,

- perroon osaliselt (tankla ja seisuplats 11),
- perimeetri tee.

Lisaks lähtuti kaugjuhitava lennujuhtimistorni eeskirjades sisalduvast nõudest, mille kohaselt peab 4 NM finaalis olema tuvastatav ATR72 või A320 tüüpi õhusõiduk. Peamised Tartusse saabuval ATR72 tüüpi õhusõidukid on igapäevased lennufirma Finnairi Helsinki–Tartu–Helsinki liinilennud. Saabuval ATR72 tüüpi õhusõiduki tegeliku kõrguse 4 NM finaalis leidmiseks uuriti saabuvalte Finnairi lendude lennukõrgusi. Radari puudumisel Tartu lennujuhtimisüksuses analüüsiti MLAT-süsteemil põhinevaid andmeid. Nimetatud andmed ei ole avalikult kättesaadavad ning seetõttu taotleti need Lennuliiklusteeninduse AS-i sidesakonnalt. Analüüsiv periood määrati juhuslikult ning selleks oli 23.04.–28.04.2016.

Võimalikult täpse lennukõrguse vahemiku määramiseks 4 NM finaalis kasutati lisaks MLAT andmetele ka ajavahemikul 23.04.–28.04.2016 väljastatud METAR-teateid ja Tartu lennuprotseduuride statistikat. Andmed koondati tabelisse (tabel 3.1) ning eesmärk oli leida lennukõrgus 4 NM finaalis mõõdetuna maapinnast (QFE). Õhusõiduki lennukõrguse (jalgades) leidmiseks maapinnast 4 NM finaalis kasutati valemit:

$$e = e_{QNE} - (QNE - QNH) \times 27 - 219 \text{ft},$$

kus e_{QNE} – õhusõiduki kõrgus mõõdetuna standardrõhu pinnast [ft],

$QNE = 1013$ [hPa],

$1 \text{ hPa} \sim 27 \text{ ft}$,

219 ft – Tartu lennuvälja kõrgus keskmisest merepinnast (eAIP).

Tabel 3.1. Saabuvalte ATR72 kõrgused lähenemisel

Õhusõiduk (aeg 4 NM finaalis UTC)	Kõrgus 4 NM finaalis (QNE, ft)	Kehtiv QNH (aritmeetiline keskmine, hPa)	Keskmine kõrgus 4NM finaalis (QFE, ft)
SSR kood 5317 (08:35)	1600	1005	1603
SSR kood 7037 (13:43)	1525	1012	1717

SSR kood 5035 (08:40)	1425	1011	1590
SSR kood 2503 (08:41)	1750	1002	1672
SSR kood 2510 (14:03)	1475	1012	1667
SSR kood 2553 (13:50)	1750	1001	1645

Kasutades arvutuste tulemusi ja kogutud informatsiooni määratleti lähi- ning lähenemisala katteala selliselt, et kaetud oleks alljärgnevad alad:

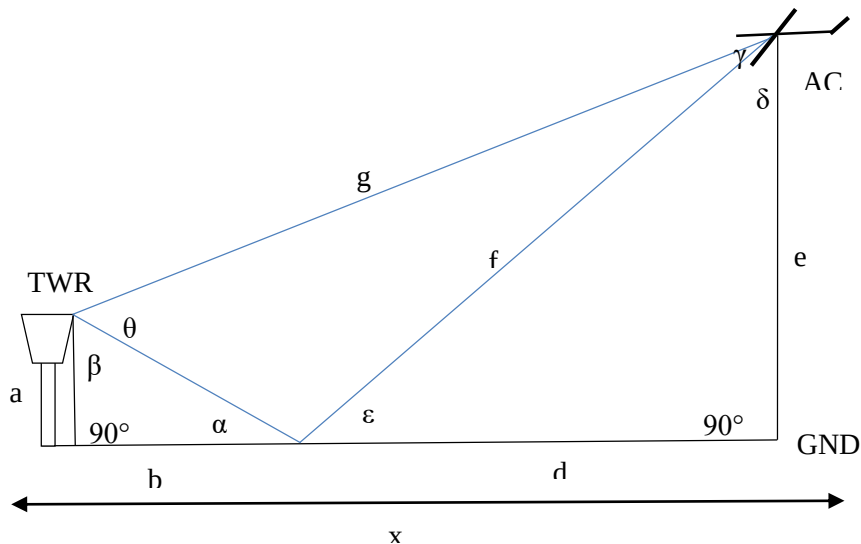
- lennundusmuuseum;
- lennuväljaring;
- Pakker Avio visuaalsetel orientiiridel põhinev lennuväljaring kopteritele, kõrgusega 500 jalga (QFE);
- 4 NM finaali kõrgusvahemikus 1600–1700 jalga (QFE).

Kaamera vaatevälja nurga (θ) arvutamiseks kasutati kolmnurkade lahendamise teoreeme. Otsitavad nurgad ning küljed arvutati Pythagorase ja koosinus teoreemi abil (joonis 3.4).

Arvutuste algandmed olid:

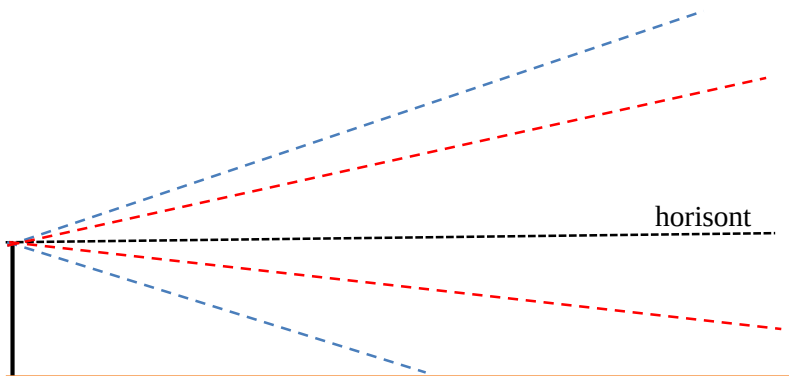
- a – kaamera asukoha kõrgus maapinnast [m];
- b – vahemaa kaamera ning katteala alguspunkti vahel [m];
- x – õhusõiduki ja kaamera asukoha projektsioonide vahemaa [m];
- e – õhusõiduki kõrgus maapinnast [m].

Arvutused sisaldavad järgmisi muutumatuid väärtusi: kaamera kõrgus maapinnast ($a = 20$ m) ja kaamera vaatevälja lähim kaugus ($b = 150$ m). Muutuvad tegurid on õhusõiduki kõrgus maapinnast (e) ja lennuväljaringi või saabumisprotseduuri osa kaugus kaamerate asukohast (x).



Joonis 3.4. Kaamera minimaalse vaatevälja nurga (θ) määramise põhimõte. (Autori joonis)

Arvutustest selgus, et minimaalne nõutav kaamera vaatevälja nurk on 22° (8° allpool horisonti ja 14° ülespoole). See tagaks videopildi maapealsetest Tartu lennujuhtimisüksuse vastutusaladest ning vastavalt kaugjuhitava lennujuhtimistorni nõuetele ka ülevaate lennuvälja lähiümbrusest ning 4 NM finaalis lendavatest õhusõidukitest. Lennukõrguste varieerumist arvesse võttes, leiti optimaalseks kaamera vaatevälja nurgaks 27° . Autori välja pakutav kaamera vaatevälja nurk on ligikaudu kaks korda suurem ehk 40° tagamaks võimalikud lennukõrguse või lennuväljaringil lendamise rikkumised ja laiendamaks videopilti ka suuremale osale perroonist. Sealjuures on kaamera optimaalne asetusnurk 0° horisondi suhtes ehk paralleelne horisondiga. (Joonis 5.1)



Joonis 5.1 Nõutav (punane punktiirjoon), optimaalne (kollane punktiirjoon) ja autori pakutav (sinine punktiirjoon) kaamera vaateväli horisondi suhtes. (Autori joonis)

Kokkuvõte

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli määrata Tartu kaugjuhitava lennujuhtimistorni süsteemis kasutusele võetavate kaamerate vaateväli ning vastavalt sellele ka asetusnurk horisondi suhtes lähtudes Tartu lähi- ja lähenemisala piiridest ja protseduuridest.

Lõputöö raames tutvustas autor Tartu lähi- ja lähenemisala piire ja vastavaid protseduure ning lennujuhtimisüksuse tööd. Lisaks sellele anti põhjalik ülevaade lõputöö eesmärgini jõudmiseks kasutatud metoodikast – arvutusi ja informatsiooni leidmist. Eesmärgi saavutamiseks valmis valem, mille põhjal on väärtusi muutes võimalik välja arvutada kaamera vaatevälja nurka ja seda ka horisondist alla- ning ülespoole.

Uurimistöö käigus määrati kattealad, milleks maapinnal on rada 08/26 ja ruleerimistee A täies ulatuses ning osa perroonist (tankla ja seisuplats 11). Tartu lähi- ja lähenemisala kattealadeks loeti lennundusmuuseumi, lennuväljaringi, Pakker Avio lennukooli visuaalsetel orientiiridel põhinevat lennuväljaringi (500 jalga maapinnast) ja 4 NM finaali kõrgusvahemikus 1600–1700 jalga (maapinnast).

Autori poolt välja pakutav kaamera vaatevälja nurk on 40° . Sealjuures on kaamera optimaalne asetusnurk 0° horisondi suhtes ehk paralleelne horisondiga. Arvutuste tulemused edastati Lennuliiklusteeninduse AS-ile 2016. a septembris

ning need leiavad kasutust Tartu kaugjuhitava lennujuhtimistorni süsteemi arendamise projektis.

M. Varblas. *Tartu kaugjuhitava lennujuhtimistorni kaamerate vaatevälja ja asetuse määramine:* lõputöö, juhendaja Allan Tart, konsultandid Lauri Laasik, Martin Tärn. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 26 allikat

SUMMARY

PRINCIPLES OF DETERMINING THE FIELD OF VIEW AND THE ANGLE OF POSITION FOR REMOTE TOWER CAMERAS AT TARTU AIRPORT

Keywords: remote tower systems, cameras' angle of view and angle of position, Tartu airport

Being a part of the European Union, Estonia has a role in the project of the Single European Sky (SES). Technologically SES is supported by advanced technologies and procedures provided by SESAR program. The Remote Tower System is one of the many technical innovations for modernizing and optimizing the future ATM network in Europe.

This major research focuses on the calculation of the cameras' angle of view and angle of position for the Remote Tower System at Tartu airport. The research and calculations were carried out from May to August 2016 and are a part of the Remote Tower System prototype development project at Tartu airport.

The graduation thesis has three main objectives:

1. To determine the required coverage areas for the cameras according to the Remote Tower System requirements and Tartu ATC unit procedures.
2. To calculate the optimal field of view of the cameras regarding the abovementioned coverage areas.
3. To calculate and suggest the most suitable angle of position for the cameras.

The thesis consists of five chapters. Chapter 1 gives an overview of Tartu control zone and terminal area. In addition to that it introduces the area of responsibility, air traffic control service and procedures of Tartu ATC unit. Chapter 2 addresses the concept of the Remote Tower System and reveals the requirements of visual

presentation of a Remote Tower, on the basis of which it is possible to determine the required coverage areas. Chapter 3 presents the main sources of the basic data and the methodology how the areas to be covered were determined. Moreover, it introduces the logic of calculation and formula program in MS Excel. Chapter 4 presents the results of on-site testing of the angle of cameras in Tartu tower. The last chapter integrates and analyses the results of calculations. The author provides her recommendations for choosing the reasonable optimal field of view and the most suitable angle of position of the cameras.

Based on the research and calculations the author has drawn the following conclusions:

- Required coverage areas can be divided into two:
 - On the ground – runway 08/26, taxiway A, part of apron A and B (fuel station, and stand 11);
 - A part of Tartu control zone and terminal area: Estonian Aviation Museum, traffic circuit, Pakker Avio traffic circuit for helicopters departing from stand 11, 4 NM final between altitude 1600 and 1700 ft.
- According to the appointed covering areas the required angle of view is 22°, optimal 27° and recommended 40°.
- The most suitable angle of position of the camera is 0° relative to the horizon.

All the results of this thesis were relayed to the EANS and Cybernetica AS in September. On the basis of the research completed within this thesis, the author concludes that further investigation into this topic can be pursued at other regional airports in Estonia such as Kärdla, Kuressaare or Pärnu, because if the Remote Tower System is successful in Tartu, it will be expanded to all regional airports in Estonia.

LENNUNDUSE SIDE- JA NAVIGATSIOONISÜSTEEMIDE KÄITAMINE

SAATEKS

Side ja navigatsiooni osakond on aastate jooksul oluliselt laiendanud oma koostööpartnerite ringi. Meie koostööpartneriteks on lisaks lennundus-ettevõtetele ka mitmed elektroonikaettevõtted ning haridus- ja teadusasutused. Eelnevast tulenevalt on ka meie lõputööde teemade valik mitmekesisitunud. Viimasel kahel aastal on üliõpilased leidnud huvitavaid rakenduslikke lõputööde teemasid väga erinevates projektides ja valdkondades.

Tallinna Tehnikaülikooli innovatsiooni- ja ettevõtluskeskus Mektory käivitas tudengisatelliidi programmi, mille käigus pakkus Priit Sulamägi välja teoreetilise lahenduse kuupsatelliidi X-riba saatjale ning arendas kontrollelektronika tarkvara.

Joel Hainsalu ühendas lõputöös edukalt oma teadmised antennide teooriast ja oskused programmeerimises. Tulemusena valmis veebirakendus, mis on elektroonikainsenerile abiks kindlale antennile sobitusahela projekteerimisel.

Tartu Observatooriumi elektromagnetilise ühilduvuse mõõtelaboris tekkis vajadus operatiivselt hinnata mõõtesüsteemi korrasolekut. Tanel Tuvikese lõputöö raames valmis kompaktne kaasaskantav laiaribaline testsignaali generaator.

Ron Freimanni lõputöö on osa Threod Systems OÜ mehitamata õhusõidukite arendusprogrammist. Töö pakkus välja praktilise lahenduse Sagetech XS seeria transpondri integreerimiseks Threod Systems Stream C mehitamata õhusõidukile. Eesti Lennuakadeemia *cum laude* lõpetanud Ron Freimanni töö tunnistati ka lennuakadeemia 2017. aasta parimaks lõputööks.

Nele Andresen

Side ja navigatsiooni osakonna hoidja

Valeri Kravets

Navigatsioonisüsteemide lektor, osakonnajuhataja kt 2016/2017. õppeaastal

TRANSPODRI INTEGREERIMINE MEHITAMATA ÕHUSÕIDUKILE

RON FREIMANN

Juhendaja Kristjan Tiimus

Konsultandid Mikk Mururmäe, Viljo Allik, Margus Sammelsaar

Märksõnad: UAV, mehitamata õhusõiduk, transponder, ADS-B, Threod Systems Stream C

Sissejuhatus

Mehitamata õhusõidukite rakendus nii tsiviil- kui ka militaarlennunduses on pidevas kasvus. Käesoleva sajandi teise aastakümne alguseks on hinnatud ainuüksi Ameerika Ühendriikides mehitamata õhusõidukitele tehtavate kulutuste kasvu kuni kahekordseks võrreldes käesoleva dekaadi algusega. Samuti pühendavad erinevad lennundusorganisatsioonid (Euroopa Lennundusohutuse Agentuur, Rahvusvaheline Tsiviillennunduse Organisatsioon) käesoleval hetkel märkimisväärseid ressursse ühtse rahvusvahelise mehitamata õhusõidukite käitamist reguleerivate normatiivide välja töötamisele. Kõrvuti mehitamata õhusõidukite rakendamise kasvuga toimub veel hoogsam kasv mehitatud õhusõidukite vallas, mispärast tehakse juba praegu suuri pingutusi lennuliikluse korraldamise süsteemi (ATM) ümberkujundamiseks toetamaks efektiivsemat, samas turvalisemat ja säästlikumat, õhuruumi kasutust. Üheks oluliseks osaks tuleviku ATM süsteemis on uus tehnoloogia nagu näiteks ADS-B põhine seire. ADS-B seadme omamine on juba lähitulevikus paljudes maailma paikades seaduslikult kontrollitud õhuruumis lendamiseks kohustuslik. On alust arvata, et kui toimub mehitamata ja mehitatud õhusõidukite integreerimine ühtsesse üldlennunduseks kasutatavasse õhuruumi, saab ADS-B kohustuslikuks ka mehitamata õhusõidukitele.

Lõputöö eesmärk oli pakkuda praktiline lahendus Sagetech XS seeria transpodri integreerimiseks Threod Systems mehitamata õhusõidukile. Töö jaotub neljaks osaks, millest kahes esimeses osas keskenduti teoreetiliste lähtekohtade uurimisele ja lähteülesande põhjendamise vajadusele, samuti ka erinevate mehitamata õhusõiduki süsteemi komponentide tutvustamisele ja selgitamisele. Aluseks selle analüüsi teostamisel olid erinevad rahvusvahelised lennunduse regulatsioonid, standardid ja dokumendid. Töö põhiosaks ja olulisemaks väljundiks on viimased kaks peatükki, milles käsitleti praktilisest küljest lähtudes transpodri integreerimise võimalikkust Threod Systems Stream C UAV platvormile.

Käesoleva lõputöö üldisem eesmärk on toetada valitud suunda, mida tuleviku ATM-süsteemi kontseptsioon pakub ning seda just nimelt mehitamata õhusõidukite vallas. Töö sisuks on teoreetiline analüüs ning hinnang Sagatech XS seeria transpondri integreerimiseks keskmise suurusega mehitamata õhusõidukile (Stream C). Töö väljundiks on konkreetne välja pakutud lahendus, mille põhjal on teostatud analüüs transpondri antenni optimaalseks paigalduseks õhusõiduki kerel, lähtudes kehtivatest standarditest tulenevatest nõuetest antenni kiirgusmuustrile, võimendusele ja muudele olulistele parameetritele. Samuti sisaldab töö põhjaliku erinevate raadiosüsteemide koostalitusvõime analüüsi ja sellest lähtuvat hinnangut transpondri integreerimise võimaluse kohta.

Sisu ja analüüs

Käesolev töö oli mõeldud pakkuma alustala edasiseks arendustööks transpondri integreerimisel konkreetsele mehitamata õhusõiduki platvormile ning on vaid üheks osaks pikemast ja töömahukamast arendustööst. Töö eesmärk oli teostada esmane analüüs transpondri integreerimise võimalikkusest Stream C mehitamata õhusõidukile ja pakkuda välja optimaalne lahendus seadme ning selle antenni paigutuseks õhusõidukil.

Integreerimise seisukohalt oli oluline välja selgitada järgnev:

- a) transpondri antenni paigutus õhusõidukil, et see vastaks kehtestatud nõuetele asjakohastes standardites (EUROCAE ED-102 ja DO-260B) ja oleks tulevikus sertifitseeritav,
- b) transpondri koostalitusvõime teiste raadiosüsteemidega õhusõiduki pardal, teostades võimalike häiringute taseme analüüsi ja andes sellele hinnangu.

Transpondri antenni asukoha valikul võeti lähtekohaks asjakohased kehtivad standardid, mis sätestavad nõuded transpondrile, selle antennile ja raadioseadme operatiivsele võimekusele. Olulisemad nõuded, millega käesolevas töös eelkõige arvestati, on ära märgitud tabelis (Tabel 1. Nõuded transpondri antennile).

Tabel 1. Nõuded transpondri antennile

Töösagedus	1030–1090 MHz
Sisendtakistus	50 Ω
Asukoht (<i>non-diversity</i>)	Kerealune, telgjoon
Suunategur	Suunata (<i>omni</i>)
Seisva laine tegur (VSWR)	<1.5:1 (1090MHz)
Polarisatsioon (<i>polarization</i>)	Vertikaalne
Võimendus	Min. 3 dBi
Suunadiagramm (<i>radiation pattern</i>)	Võimendus ei tohi olla alla 1 dB sobitatud veerandlaineline monopol antenni võimendusest 90% ulatuses kattealas (asimuudis 0 kuni 360 kraadi, vertikaalis 15 kuni 20 kraadi), kui see on paigutatud vähemalt 1,2-meetrise diameetriga tasase ringikujulise maanduspinna keskele maapinnal.

Suur osa neist nõuetest on täidetavad juba ainuüksi sobiva ja spetsiaalselt transpondritele projekteeritud antenni valikuga. Samas on polarisatsioon, seisva laine tegur (SWR) ja antenni võimendus oluliselt sõltuvad ka selle paigaldusest ning need olid ka lähtekohtadeks antud ülesandele. Tähtsaim kriteerium antenni paigaldusele ja selle asukohale õhusõiduki kerel oli antenni võimendus asimuudis ja elevatsioonis. Teadaolevalt sõltuvad viimased suuresti ka antenni lähedal paiknevatest objektidest. Seega oli siinkohal oluline arvestada konkreetse õhusõiduki kere kuju ja materjaliga. Lõplik hinnang kujundati varsemalt teostatud sarnaste uurimistööde analüüsimisel ja simulatsiooni tulemustel. Uurimistöö, mida analüüsiti, sisaldas endas põhjalikku simulatsiooni ja reaalse testimistulemuse võrdlust. Testiti transpondri antenni erinevaid asukohti Fokker 100 õhusõiduki kerel. Kuigi mainitud õhusõiduki ja Stream C kere konstruktsioonis esinevad olulised erinevused, sai siiski teha teatud järeldusi transpondri asukoha mõjust selle kiirgusmuustrile ja võimendusele. Oluliselt detailsemad tulemused pakkusid simulatsiooni tulemused teostatuna 4NEC2 vabavaralise tarkvaraga. Mainitud tarkvaraga uuriti antenni läheduses paiknevate objektide (tagavara telemeetria antenn, jahutusradiaator) mõju selle suunadiagrammile. Analüüsi tulemustel jõuti hinnanguni, et transpondri antenni optimaalseim paigalduskoht õhusõiduki kerel on saba alumine osa.

Stream C mehitamata õhusõiduki pardal on kasutusel viis eraldiseisvat raadiosüsteemi, millest kaks rakendavad MIMO-tehnoloogiat. Seega eksisteerib õhusõiduki pardal kokku seitse eraldiseisvat antenni. Teadaolevalt on mehitamata õhusõidukid enamikul juhtudel võrdlemisi väikeste mõõtudega, nagu ka Stream C. Töö viimases peatükis keskenduti nende mitme raadiosüsteemi koostalitusvõime hindamisele. Transpondri väljundvõimsuseks on tootja andmelehtede järgi 250 W, mistõttu eksisteerib ka aktuaalne vajadus hindamaks ega nii võimas saatja teiste raadiosüsteemide tööd ei häiri. Lisaks analüüsiti ka teiste raadiosüsteemide mõju transpondri tööle saamaks täielikku ülevaadet erinevate raadiosüsteemide koostalitusvõimest. Analüüsi sisuks oli sidebilansi arvutuste koostamine tootjate andmelehtedest saadud informatsiooni põhjal, standarditest tulenevatest ja ka praktikast tuletatavate väärtustega. Samuti teostati intermodulatsioonist tulenevate häiringute analüüs, kuna mainitud õhusõiduk kasutab mitut erinevat sagedusel töötavat raadioseadet. Analüüsi tulemuseks oli esmane hinnang, et lõputööga välja pakutud integratsiooni lahenduse korral oleks häiringute tase minimaalne ja aktsepteeritavates piirides.

Kokkuvõte

Lõputöös uuriti Sagetech XS seeria transpondri integreerimist Threod Systems Stream C UAV platvormile. Eelkõige uuriti töös transpondri koostalitusvõimet koos teiste raadiosüsteemidega UAV pardal (navigatsioon, side). Samuti teostati esialgne analüüs seadme optimaalseks paigaldamiseks (antenni asukoht, kaabeldus), uurides, millised on konkreetsed nõuded paigalduse sertifitseerimiseks ja andes hinnangu nende täidetavuse kohta.

Töö oli mõeldud olema aluseks edasiseks arendustööks transpondri integreerimisel Stream C mehitamata õhusõidukile. Selle eesmärk on kirjeldada olulisi aspekte, mida transpondri paigaldamisel on tarvilik jälgida, planeerida esialgne paigaldus ja anda hinnang sellele. Töö loogiliseks jätkuks oleks teostada reaalsed mõõtmised (prototüübil või mudelil) ning saadud tulemuste põhjal anda hinnang paigalduse vastavusele kehtestatud normidele ja selle koostalitusvõimele teiste raadiosüsteemidega UAV pardal. Eelmainitud tegevused on planeeritud ka edasise arendustöö osadeks.

Käesoleva lõputöö lisaväärtuseks on pakkuda alust transpondri integreerimiseks ka muudele sarnastele mehitamata õhusõidukite platvormidele. Kuna mehitamata õhusõidukite populaarsus ja käitamine on kasvamas ning nii Rahvusvaheline Tsiviillennunduse Organisatsioon kui ka Euroopa Lennundusohutuse Agentuur töötavad juba käesoleval hetkel pingsalt mehitamata õhusõidukite integreerimiseks üldlennunduseks kasutatavasse õhuruumi, siis

leiab töö autor, et transpondri paigaldamine mehitamata õhusõidukitele ja nende kasutusele võtmine muutub tulevikus üha aktuaalsemaks.

R. Freimann. *Transpondri paigaldamine mehitamata õhusõidukile:* lõputöö, juhendaja Kristjan Tiimus, konsultandid Mikk Mururmäe, Viljo Allik, Margus Sammelsaar. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 50 allikat.

SUMMARY

INTEGRATION OF TRANSPONDER ONTO UNMANNED AIRCRAFT

Keywords: transponder, UAV, ADS-B, Threod Systems Stream C

The purpose of this graduation thesis is to offer a basis for further research into the possibilities of integrating the Sagetech XS series transponder onto Threod Systems Stream C unmanned aircraft. This paper gives an overview of the present and near future regulations and mandates for UAVs which will affect the design and implementation of such UAVs as Stream C in the near future. The necessity to incorporate a transponder onto future UAVs is analysed in detail, based on current regulations and international aviation community viewpoints. The main focus of this paper is on studying the physical installation (antenna placement, cabling, transponder placement) of Sagetech XS transponder and evaluating its interoperability with other radio equipment onboard the mentioned UAV (datalink, GPS receivers etc). The thesis offers the concept of “installation onto aircraft” and concludes with a preliminary assessment of the validity of that concept.

A solution is provided with this thesis which is the first step for successful and certifiable integration of a transponder onto unmanned aircraft. The author believes that although the solution provided in the thesis is very specific to Stream C UAV platform, a similar first approach can be applied for integrating transponders onto other types of medium size UAV platforms. A more general purpose of the thesis is to support the future concept of air traffic management and the integration of unmanned aircraft into non-segregated airspace.

LAIARIBALINE TESTSIGNAALI GENERAATOR

TANEL TUVIKENE
Juhendaja Viljo Allik (MSc)

Märksõnad: laiaribaline, testsignaal, mõõtesüsteem, elektromagnetiline ühilduvus

Sissejuhatus

Lõputöö eesmärk on valmistada laiaribaline testsignaali generaator, mille abil oleks võimalik elektromagnetilise ühilduvuse mõõtelaboris hinnata mõõtesüsteemi korrasolekut.

Mõõteseadmeid on tähtis kontrollida enne mõõtmiste alustamist veendumaks, et nii mõõteseadet kui ka kogu mõõtesüsteem on töökorras ja õigesti seadistatud. Töös valminud seade ei sobi küll täpseks kalibreerimiseks, kuid selle abil saab ligilähedaselt hinnata mõõtesüsteemi seisundit ning avastada võimalikke rikkeid. Lisaks on seadme abil võimalik sooritada laboritevahelisi referentsmõõtmisi.

Eesmärgi saavutamiseks valiti vajalikud komponendid, millega oleks võimalik valmistada töö lähteandmetele ja tingimustele vastav seade ning koostati elektriskeem. Skeemi põhjal disainiti trükkplaat, mis telliti trükkplaatide valmistamisega tegelevalt ettevõttelt. Seejärel joodeti trükkplaadile komponendid. Pärast aku lisamist, seadme programmeerimist ning antenni valmistamist jätkati testsignaali generaatori testimisega.

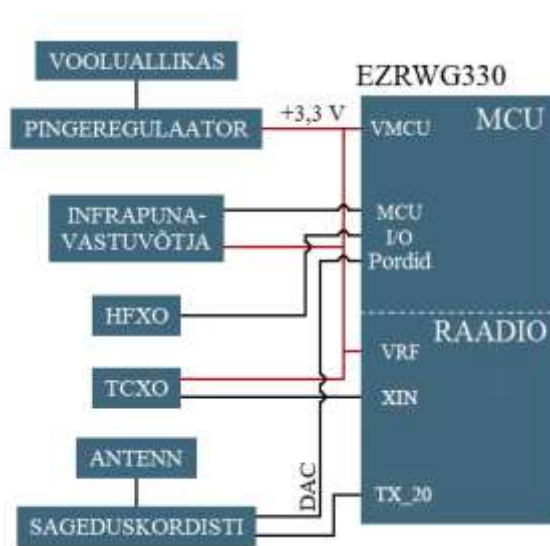
Lõputöö koosneb neljast peatükist. Esimeses peatükis tuuakse välja seadme otstarve ja muud kasutusvõimalused. Antakse ülevaade seadme tööpõhimõttest ning peamistest plokkidest. Teine peatükk kirjeldab meetodikat, mida seadme projekteerimisel ja konstrueerimisel kasutati. Kolmandas peatükis on eraldi välja toodud seadme plokkide tööpõhimõtted ning nendes kasutatavate komponentide ülesanded. Neljas peatükk koosneb testimismeetoditest ning saavutatud tulemustest.

Ülevaade seadmest

Lõputöö raames valmistatav laiaribaline testsignaali generaator on kompaktne ja kaasaskantav ning sellel on infrapuna signaali abil tagatud kaugjuhtimise võimekus, tänu millele on generaatori kasutamine võimalusterohke ja mugav. Testsignaali generaatorit saab kasutada ka lihtsa signaaligeneraatorina, millega on võimalik erinevaks otstarbeks vajaliku sageduse ja võimsusega signaali genereerida. Siiski pole signaali sagedus piisavalt täpne ja sisaldab palju

harmonikuid, mistõttu ei sobi täpselt kalibreerimiseks, kuid annab genereeritud signaali abil võimaluse umbkaudselt hinnata näiteks mõne antenni või muu raadioseadme tööd. Testsignaali generaatori kompaktsuse ja portatiivsuse tagavad väikeste mõõtmete ja madala voolutarbega komponendid, mille toiteks kasutatakse mobiiltelefoni akut.

Testsignaali generaator koosneb peamiselt vooluallikast, pingeregulaatorist, mikrokontrollerist, sageduskordistist, antennist, kahest välisest ostsillaatorist mikrokontrolleri ja transiiveri jaoks ning infrapuna vastuvõtjast. Seadme plokkskeem on toodud joonisel 1.



Joonis 1. Seadme plokkskeem

Seadme tuumaks on Silicon Labs'is toodetud mikrokontroller, mille ülesandeks on vastavalt programmile juhtida ja koordineerida välisseadmete tööd. Selles on integreeritud ka transiiver, mis võimaldab genereerida signaali sagedusvahemikus 142 – 1050 MHz väljundvõimsusel kuni +20 dBm.

Kõrgema väljundsignaali sageduste saamiseks kasutatakse SRD-dioodil põhinevat sageduskordistit. See genereerib algsest signaalist lühikesi impulsse, milles on kõrgema sagedusega harmoonikuid. Peale sageduskordistit on maksimaalne võimalik väljundsignaali sagedus ligikaudu 5 GHz. Peale sageduskordistit suunatakse signaal piisavalt laiaribalisse ja ühtlase suunadiagrammiga antenni, mis kiirgab signaali ümbritsevasse keskkonda.

Mikrokontrolleri ja transiiveri tööks on vajalikud välised ostsillaatorid MCU töösageduse ja transiiveri väljundsignaali genereerimiseks.

Infrapuna vastuvõtjaks valiti komponent, mis detekteerib infravalgust 38 kHz sagedusega, kuna sellise sagedusega saatjad on laialt levinud. Infrapuna vastuvõtja väljund on ühendatud otse MCU üldotstarbelisse sisend-väljundporti (GPIO, *General-Purpose Input/Output*), kus on võimalik signaal dekodeerida ning vastavaid käsklusi täita.

MCU toiteks kasutatakse Li-ion akut ning vajaliku stabiilse pinge tagab pingeregulaator. MCU toitepingeks on 3,3 V alalisvool. Sama pinget kasutatakse ka infrapuna vastuvõtja ja transiiveri välise taktigeneraatori toiteks.

Metoodika

Laiaribalise testsignaali generaatori projekteerimine algas plokkiskeemi koostamisest ning selle põhjal koostati ka elektriskeem. Seadmes kasutatavate komponentide andmelehtedelt kogutud informatsiooni põhjal koostati ühendusskeemid seadme üksikute plokkide kohta ning hiljem integreeriti kõik plokid omavahel vastavalt mikrokontrolleri spetsifikatsioonile. Lõplik elektriskeem koostati tasuta kättesaadavas arvutiprogrammis *DesignSpark PCB*.

Trükkplaat disainiti samuti programmis *DesignSpark PCB*, kus joonestati valitud komponentidele vajalikud PCB sümbolid ning valiti neile sobiv paigutus. Lõpuks veeti skeemi põhjal voolurajad.

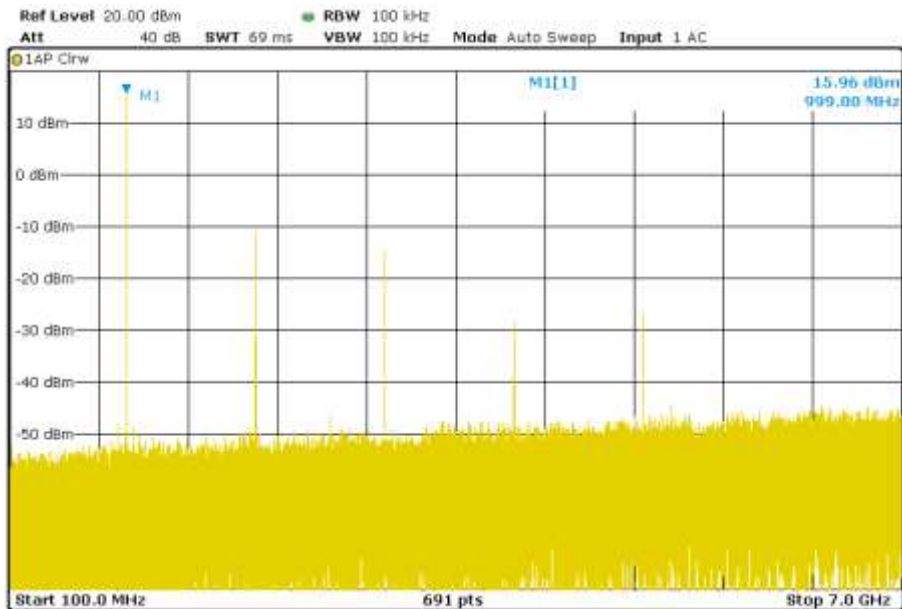
Vajalikud komponendid ja trükkplaat telliti koostatud skeemi ja trükkplaadi disaini põhjal. Seejärel jootis autor komponendid trükkplaadile. Lisaks võeti seadme toiteks kasutusele ka sobiv aku. Seejärel jätkati seadme programmeerimisega, mis toimus C-keeles. Seadmes kasutatava programmi kirjutas juhendaja. Valminud seade on nähtav joonisel 2.



Joonis 2. Valminud seade

Testimine ja tulemused

Lõplikult valminud seadme testimiseks kasutati spektrianalüsaatorit (R&S®ESR). Laiaribalise testsignaali generaatori väljund ühendati kaabli abil spektrianalüsaatoriga ning mõõdeti põhisignaali ning harmoonikute võimsusi. Transiiveri väljundis kasutati sagedusi vahemikus 150 MHz – 1 GHz ning analüüsiti väljundsignaali spektrit. 1 GHz sagedusega transiiveri väljundsignaali korral on seadme väljundsignaali spekter kujutatud joonisel 3.



Joonis 3. Väljundsignaali spekter 1 GHz transiiveri põhisageduse korral

Tulemustest selgub, et kõige võimsamat signaali kiirgab seade põhisageduse juures. Spektril on näha ka signaali harmoonikud, millest saab järeldada, et sageduskordisti töötab ettenähtult ning on võimeline genereerima kõrgema sagedusega signaale.

Laiaribalist testsignaali generaatorit testiti saaterežiimil ka elektromagnetilise ühilduvuse mõõtekambris, kus signaali edastamiseks kasutati antenni. Vastuvõetud signaal suunati spektrianalüsaatorisse ning programmi abil mõõdeti automaatselt kõrgemate tippude sagedused ja võimsused. Mõõtmisi tehti erinevate transiiveri põhisageduste korral (150 MHz, 300 MHz, 500 MHz, 1 GHz). Mõõtetulemustest selgus, et erineva valitud põhisageduse korral genereerib seade detekteeritava võimsusega harmoonikuid kuni 5 GHz-ni ning on võimeline signaali edastama ka kasutatava antenni abil. Põhisageduse ja harmoonikute olemasolu kinnitab seadme eesmärgipärast toimimist.

Elektromagnetilise ühilduvuse mõõtekambris mõõdeti ka seadme suunadiagrammi ühtlust ning selgus, et suunadiagramm on ühtlane vaid põhisageduse juures ning harmoonikute võimsus sõltub seadme asendist. Selle

parandamiseks valmistati seadmele ümber silindrilise kujuga sümmeetriline metallist korpus, mille lisamisel saavutati piisavalt ühtlane suunadiagramm kõigi sagedustega harmoonikute puhul.

Kokkuvõte

Lõputöö eesmärk, milleks oli valmistada laiaribaline testsignaali generaator, on edukalt saavutatud. Lõputöö raames valmis toimiv seade, mis vastab töö lähteandmetes ja tingimustes kehtestatud nõuetele.

Tulemustest lähtudes selgub, et valminud seade on võimeline kiirgama piisavalt suure võimsusega laiaribalist testsignaali, mille parameetrid on kasutaja poolt muudetavad. Seadme maksimaalne võimalik väljundsignaali sagedus mõõtmiseks sobiva võimsuse juures on vähemalt 5 GHz. Valminud laiaribaline testsignaali generaator on kompaktne ja kaasaskantav ning sellel on tagatud kaugjuhtimise võimekus infrapuna signaali abil.

Lõputöös valminud seade on otseselt rakendatav testimiseesmärkidel Tartu Observatooriumi elektromagnetilise ühilduvuse mõõtelaboris. Kuna seade on lihtsasti kaasaskantav, võib see leida kasutust ka mujal, kus on vaja genereerida laiaribalist testsignaali või kasutada mõnda muud mikrokontrolleri funktsiooni.

Seadet on võimalik edasi arendada läbi funktsionaalsuse suurendamise. Näiteks võiks seadet saada kasutada vastuvõtjana. Erinevateks otstarveteks on võimalik mikrokontrollerit ümber programmeerida ja kasutusele võtta erinevaid lisaseadmeid. Lisaks saab tegeleda parema antenni disainimisega, mille täiustatud versioon võiks olla integreeritud trükkplaadis. Seadmel puudub ka sobiv korpus lihtsaks aku vahetamiseks ja laadimiseks ning seadme kaitseks.

T. Tuvikene. *Laiaribaline testsignaali generaator:* lõputöö, juhendaja Viljo Allik (MSc). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 15 allikat.

SUMMARY

WIDEBAND TEST SIGNAL GENERATOR

Keywords: wideband, test signal, measurement system, electromagnetic compatibility

The purpose of the project is to design and construct a wideband test signal generator, a device to be used in an electromagnetic compatibility laboratory to evaluate the operability of a signal measurement system. This is important to ensure that the system is operational and provides correct measurement results.

This paper consists of four chapters and is structured as follows:

Chapter 1 describes the purpose, functionality and possible applications of the device. Additionally, it gives an overview of the basic working principle and the main parts of the device.

Chapter 2 addresses the working principle of each part of the device. The main parts of the device are a microcontroller, frequency multiplier, voltage regulator and infrared receiver.

Chapter 3 describes the method used in designing and constructing the wideband test signal generator.

Chapter 4 consists of testing methods and achieved results.

Based on the development and testing as discussed in these chapters, the author has drawn the following conclusions: the device is capable of transmitting a wideband test signal up to frequencies of 5 GHz; the test signal parameters can be changed by the user and the final device is compact and portable.

The author suggests that further development of this device can be geared towards integrating the antenna to the board and further implementation of microcontroller's receiver functionality. Moreover, the program of the microcontroller can be rewritten so that the device could be used for several different applications.

The results of this graduation thesis have been offered to Tartu Observatory, where the device can be used for evaluating the operability of a signal measurement system in the electromagnetic compatibility laboratory.

VEEBIRAKENDUS ANTENNI OPTIMAALSE SOBITUSAHELA LEIDMISEKS

JOEL HAINSAHU

Juhendaja Siim Ainsaar (MSc), konsultant Veiko Leps

Märksõnad: impedants, sobitusahel, Google App Engine

Raadioside areng seab antennidele üha suuremaid nõudmisi. Elektroonikatööstuses loodavad seadmed muutuvad üha kompaktsemaks olenemata antennide mõõtmete sõltuvusest antenni töösagedusest. Seadmete kompaktseuse ning sellest tekkivate mõjude tõttu antenni parameetritele, on vajalik kompenseerida neid mõjusid, et antennide töö kvaliteet ei muutuks halvemaks. Samuti peavad antennid sidetehnoloogia arengu tõttu olema võimelised töötama mitmes sagedusvahemikus. Antenni sobitamine on seetõttu muutunud aina keerulisemaks ning selleks on vaja sobilikke tööriistu.

Antennide sobitamiseks on elektroonikainseneridele loodud mitmeid e-tööriistu, alustades lihtsate veebilehekülgedega, mille abiga on impedantsi sobitamise teoreetiliste valemite abil võimalik arvutada ideaalsete sobitusahela komponentide parameetreid ja lõpetades mitmekülgsede tasuliste programmidega. Eelnevalt mainitud veebilehekülgede ning arvutisse paigaldatavate programmide võimekuse vahe on väga suur. Töö kirjutamise hetkel puudus veebirakendus, milles oleks ühendatud arvutisse paigaldatavate programmide võimekus ja veebilehtede poolt pakutav interaktiivsus ning mille abil oleks võimalik määrata reaalsele antennile reaalsete komponentidega sobitust.

Lõputöö eesmärk on luua veebirakendus, mis on avalikult kättesaadav ja mis on võimekam keskmisest impedantsi arvutust võimaldavast veebilehest ning mille abil saab elektroonikainsener luua kindlale antennile töötava sobitusahela. Rakendus arvestab sobitusahela määramisel sobitatava antenni reaalseid parameetreid ja rakenduse abil saab lisaks komponentide parameetrite määramisele määrata konkreetse elektroonikakomponendi, mida tuleb sobitusel kasutada. Konkreetsete komponentide andmebaasi kasutades arvestab rakendus elektroonikakomponentide reaalseid karakteristikuid: komponentide määramisel ei tugineta lihtsalt nende ideaalsetele parameetritele, vaid arvestatakse ka nende parasiitset mahtuvust, induktiivsust ja kaotakistust.

Lõputöö on eksperimentaalne uurimus ja koosneb kolmest osast. Esimeses osas, mis koosneb kahest peatükist, antakse ülevaade impedantsi sobitamise

teoreetilistest alustest ja loodud rakenduses kasutatavatest failiformaatidest. Teises osas kirjeldatakse, kuidas autori loodud rakendus töötab. Töö kolmandas osas kirjeldatakse autori poolt läbi viidud katset testimaks loodud rakendust.

Töö käigus valmis avalikult kättesaadav skaleeruv veebirakendus, mille abil on S1P-faili põhjal võimalik määrata antennile eri tüüpi optimaalseid sobitusahelaid ja visualiseerida saadud tulemusi. Rakendus loodi platvormi *Google App Engine* programmeerimiskeelel *Python* põhinevas käituskeskkonnas. Rakenduse loomisel püstitatud eesmärgid täideti. Loodud rakendus arvestab sobitusahela määramisel sobitatava antenni reaalsete omadustega. Rakendus kasutab sobituse määramiseks konkreetset komponentide andmebaasi, mislõbi toetutakse lisaks antennile veel komponentide reaalsele omadustele. Rakenduse abil on võimalik määrata sobitust mitmes sagedusvahemikus töötavale antennile ja rakendusel on kasutajasõbralik kasutajaliides.

Rakenduse testimiseks konstrueeris autor reaalsele antennile sobitusahela, kasutades ahela elementide määramiseks tema enda loodud veebirakendust. Autor mõõtis antenni peegeldustegurit sobitusahelaga ja sobitusahelata, kasutades spektrianalüsaatorit Rohde & Schwarz FSH3. Mõõtmiste tulemusel selgus, et rakenduse abil tehtud sobituse tulemusena vähenes sobitusahelaga antenni peegeldustegur sobitatavatel sagedustel rakendusega arvutatud tulemusele vastavalt, muutes nii võimsusülekande antenni efektiivsemaks kui ka antenni töö nendes sagedusvahemikes kasumlikumaks. Katsel saadud tulemuste põhjal saab väita, et rakenduse abil on võimalik luua antennile efektiivselt töötavat sobitusahelat.

J. Hainsalu. *Veebirakendus antenni optimaalse sobitusahela leidmiseks:* lõputöö, juhendaja Siim Ainsaar (MSc), konsultant Veiko Leps. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 25 allikat.

SUMMARY

WEB APPLICATION FOR DETERMINING AN OPTIMAL IMPEDANCE MATCHING CIRCUIT FOR AN ANTENNA

Keywords: impedance matching circuit, web application, Google App Engine

The aim of this graduation thesis is to create a scalable web application for electronics engineers to determine matching circuits for antennas.

The thesis consists of four chapters. Chapter 1 gives an overview of the principles of impedance matching. In this chapter it is described how the signal travels across the transmission line and how it behaves when travelling from one circuit to another if the impedances of the circuits are matched and if they are not. Different parameters like S , Z and Y used to characterize multiport systems are also introduced. Finally, an overview of different matching circuits and the importance of the impedance matching are given.

Chapter 2 describes the two file formats, namely Touchstone SnP and SPICE, which were mainly used when creating the web app. Touchstone SnP format was used to characterize the properties of the antennas in different frequencies and SPICE format was used to describe the electronic circuits.

Chapter 3 introduces the application. It starts with the description of the tools, namely Google App Engine and its Python runtime environment, which were used to create the app. The chapter ends with a detailed description of the application.

Chapter 4 presents a practical test, which was conducted by the author to test the application. Firstly, a real antenna's characteristic was measured with a vector network analyzer miniVNA Tiny and a software vna/J. The results were saved in a S1P file, which was used by the application to determine the best elements for different matching circuits. The author chose Π matching circuit for the matching. After determining the matching circuit elements, the author measured the original unmatched antenna's reflection coefficient with a Rohde & Schwarz FSH3 spectrum analyzer. Then the author constructed a matching circuit for the antenna using the elements determined by the application. Not all the determined electronic components were available at the time, therefore, alternative elements with similar characteristics were used in the matching circuit. After constructing the matching circuit, the author measured the reflection coefficient of the matched antennas with a Rohde & Schwarz FSH3 spectrum analyzer. The results were very close to the theoretical results given by the application proving that the application is usable for impedance matching.

TTÜ-MEKTORY KUUPSATELLIIDI SAATJA JA DRAIVERI TARKVARA

PRIIT SULAMÄGI

Juhendaja Ivo Mürsepp (PhD), konsultant Jaak Umborg (PhD)

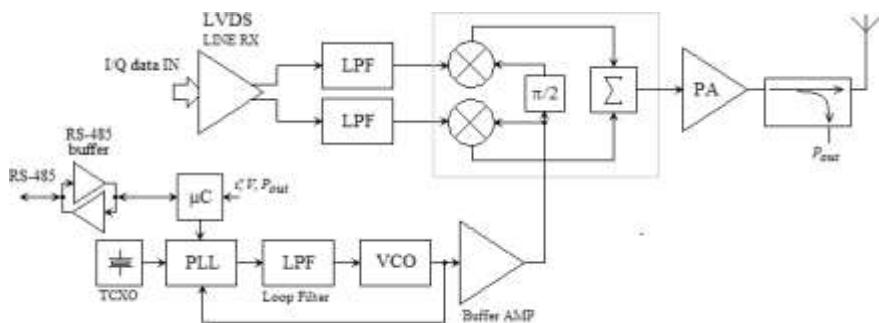
Märksõnad: X-riba saatja arhitektuur, draiveri tarkvara, kuupsatelliit, TTÜ-Mektory

Kuupsatelliit (inglise keeles *CubeSat*) on vähendatud mõõtmetega nanosatelliidi standard, mis töötati välja 1999. aastal kahe ülikooli (California Polütehnikum ja Stanfordini ülikool) koostöös. Sellega defineeriti satelliidi baasühiku (U) – 1 kuubi – mõõtmed, mis on 10 cm x 10 cm x 10 cm ja maksimaalne lubatud mass kuni 1,33 kg.

TTÜ innovatsiooni- ja ettevõtluskeskus Mektory Kosmosekeskus käivitas 2014.a sügissemestril pilootprojektina nanosatelliitide arendamisele suunatud tudengisatelliidi programmi, kus läbi praktilise õppe on üliõpilastel võimalus omandada teadmisi ja kogemusi inseneeria ning kosmosetehnoloogia valdkonnas. Programmi eesmärgiks on projekteerida, ehitada ning saata Maa orbiidile töökindel väikesatelliit. Tänu järjest kasvavale kuupsatelliitide missioonide arvule ja suurenevatele andmemahutudele pole praegu kasutatavad amatööridele mõeldud sagedusalad enam andmete vahetuseks piisavad ja vaja on arendada kõrgemates sagedusvahemikes töötavaid sidesüsteeme. X-riba saatja eesmärgiks on pakkuda suure andmeedastuskiirusega ühendust satelliidi poolt kogutavate andmete edastamiseks maajaamale.

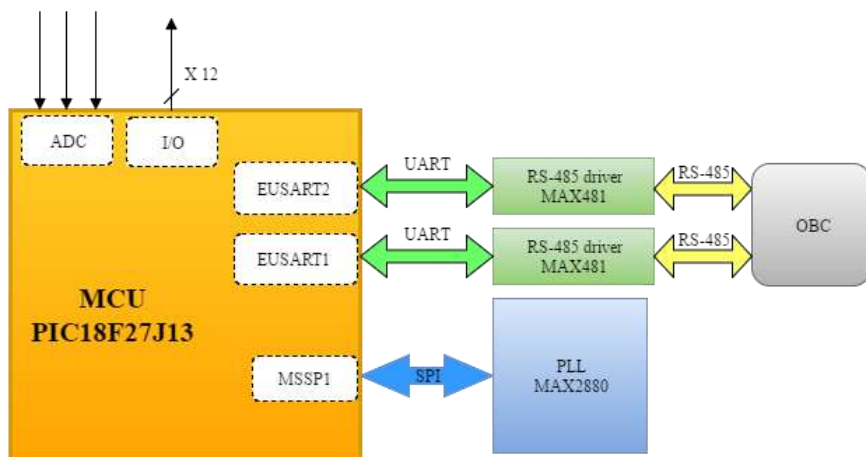
Käesoleva lõputöö eesmärgiks on pakkuda teoreetiline lahendus TTÜ-Mektory kuupsatelliidi X-riba saatjale ning selle juhtimiseks kasutatava kontroll-elektronika tarkvara arendus. Töö koosneb kolmest peatükist. Sissejuhatus sisaldab ülevaadet kuupsatelliidi standardist, TTÜ-Mektory satelliidi missioonist ja eesmärkidest.

Esimeses peatükis peatutakse saatja ehitusel üldiselt ja antakse ülevaade X-riba saatja üldisest kontseptsioonist (vt joonis 1). Loetletakse süsteemi arhitektuurile esitatud nõuded, tuuakse välja komponentide valikukriteeriumid ja võrdlustabelid ning lõpetatakse saatja detailse tööpõhimõtte kirjeldusega.



Joonis 1. X-riba saatja põhimõtteskeem

Teine peatükk keskendub X-riba saatja draiveri tarkvara arendusele. Esmalt antakse ülevaade tarkvara arenduse metodoloogiast ja kasutatavatest vahenditest. Edasi kirjeldatakse programmi üldist ülesehitust, tähtsamaid mooduleid ja nende tööpõhimõtet (vt joonis 2).



Joonis 2. X-riba saatja kontrollelektronika ülesehitus

Kolmas peatükk käsitleb draiveri tarkvara ja riistvara testimise protseduuri ning tuuakse välja selle tulemused.

Töö kontrollelektronikaga jätkub. Autorit ootab ees lõpliku tarkvara arendus, prototüübi ehitamine ja terviküsteemi testimine erinevate stsenaariumite juures.

P. Sulamägi. *TTÜ-Mektory kuupsatelliidi saatja ja draiveri tarkvara: lõputöö,* juhendaja Ivo Mürsepp (PhD), konsultant Jaak Umborg (MSc). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2016.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 23 allikat.

SUMMARY

TUT-MEKTORY CUBE SATELLITE AND DRIVER SOFTWARE

Keywords: X-band transmitter architecture, driver software, CubeSat, TUT-Mektory

This graduation thesis gives an overview of the architecture and driver software development of the TUT-Mektory cube satellite X-band transmitter. The main goal of this thesis was to choose the most energy efficient components for the proposed architecture, development and testing of transmitter driver layer software.

The thesis consists of three sections. The first describes the CubeSat standard, the mission of the TUT-Mektory satellite and the concept of the X-band transmitter.

The second section lists the requirements for and constraints on the design. It is followed by a detailed description of the criteria for component selection. The section finishes with detailed explanations of the technology chosen and hardware aspects.

The last section focuses on the methodology of software development, the most important features of the software and its testing.

The software is written in C language and, if needed, enables to reuse the code on other subsystems, too. Work on the control electronics continues in order to develop a full driver layer software and test the integration of all the components.

ÕHUSÕIDUKI JUHTIMINE

SAATEKS

Lennundust peetakse üldiselt väga konservatiivseks ja eks see üldiselt ka nii on. Samas on viimasel paaril aastal toimunud nii maailma kui ka Eesti lennunduses palju muutusi. Kaks aastat tagasi samal ajal oli Eesti lennunduse lipulaevaks Estonian Air, mille pankroti järel oli paljudel küsimus, kas meil on üldse vajadust lennundusspetsialiste Eestis koolitada. Vaadates hetkeseisu nii Eestis kui ka Euroopas, siis pigem valitseb lennunduses hoopis tööjõu puudus ja paljude spetsialistide koolitust tuleks mitmekordistada. Kuigi selle üle on hea meel, siis tasub mõelda, et kaua see tõusuperiood kestab ja pigem jääda oma tulevikuotsustes konservatiivseks.

Seega on olukord tööturul positiivne, kohati isegi ülipositiivne. Lennuki juhtimise eriala lõpetajad on väga heas seisus – nad saavad erialasele tööle. Veelgi enam, parematel neist on võimalus tööandjate vahel valida. 2017. a õhusõiduki juhtimise õppekava lõpetanute tööandjateks on AS Nordic Aviation Group, Wizz Air Ltd, Lennuliiklusteeninduse AS.

Kopteripilootidel erialase töö leidmine hetke seisuga lihtne ei ole. Õhuväe kopteriüksuse tulevik on ebaselge. Aastatel 2021–2024 lõpevad kopterite R-44 ressursid. Teises riiklikus üksuses, PPA lennusalgas, investeeringuid tegevuse laiendamiseks plaanis ei ole ning kaadrivoolavus lendavkoosseisu hulgas on olematu. Probleem võib tekkida olukorras, kui ühes või mõlemas riiklikus struktuuris siiski otsustatakse lennutegevust laiendada ning kopteripilootide juurde värvata. Kehtivate pädevustega kopteripilootide saadavus tööjõuturul on minimaalne. Seega valitseb olukord, kus suures mahus kopteripilootide koolitamisel pole selget perspektiivi ja kui keegi tööandjatest sooviks kiirelt areneda, siis selleks puudub jällegi võimalus. Ainsaks lahenduseks oleks vajadusel taastuskoolitusprogrammi pakkumine akadeemia lõpetanud, kuid tänaseks pädevuse kaotanud kopteripilootidele.

Ka akadeemia piloodikoolituses on toimunud muutusi. Neist olulisemaks on õppekava muudatus, mis sai tehtud juba 2015. aastal, kuid rakendus erialaõppes sellel aastal. Nimelt alustasid 2017. a varakevadel erialaõpinguid 2015. aastal sisse astunud ning uuendatud õppekaval õppivad üliõpilased. Muudatuse eesmärk oli ühtlustada õppekoormuse jaotumist kursuste vahel ning tuua õppekavasse tagasi lõputöö. Lennupraktikaga alustati teise ja kolmanda kursuse vahelisel suvel. Üliõpilastel on nüüdsest rohkem aega erialaainetesse süvenemiseks ja lennupraktikal omandatavate oskuste kinnistamiseks. Tänaseks on näha, et esimene erialasemester oli liiga ambitsioonikas – loengute maht võiks

olla väiksem. Lisaks seab uuenenud õppekava konkreetsed piirangud kaitsevähke minemise ajale ja ERASMUS-programmis osalemisele. Pärast II kursust ajateenistusse läinud üliõpilasel tekkis õpingutesse paus, kuna erialaõpe algab kevadel. Uue õppekavaga näha soovitud positiivseid tulemusi näeme reaalselt 1,5 aasta pärast, kui PIL 15 rühm jõuab oma erialaõpingute lõpufaasi. Kuid ka juba praegusel hetkel on võimalik osakonnal teha väiksemaid parendusi, et muuta juba õppivate või ka alles õppima asuvate üliõpilaste õpet veelgi efektiivsemaks ning sujuvamaks.

Kui rääkida õppima asujatest, siis piloodikoolituses oli ka 2017. a hea konkurss. Erialale saab valida heade eeldustega ning motiveeritud üliõpilasi. Ära tuleb märkida mitmed senisest vanemad kandidaadid, kes tulevad tagasi kõrgkooli oma varem õpitud erialalt, kus on ennast üles töötanud. Selliste kandidaatide tugevuseks on küpsus ning motiveeritus. Lepingulise lennupraktika partneri ASI Pakker Avio instruktorid on samas hoiatanud, et nende erapilootide koolituse kogemuse põhjal on näha tendentsi, et vanemad lennuõpilased on olnud akadeemia noortest piloteerimisvõtete omandamisel aeglasemad. Kindlasti tuleb sellele tähelepanu pöörata, et probleeme saaks vajadusel ennetada, kuid vaadates meie lõpetajaid läbi aastate, siis võib öelda, et üheks olulisemaks teguriks saamaks heaks piloodiks, on ikkagi tugev motiveeritus.

Kui järgmisel aastal lõpetavad üliõpilased peavad kirjutama taas lõputöö, siis 2017. a kirjutati ja kaitsti veel viimaseid uurimistöid. Uuriti Lennuakadeemia õpikeskonda, Cessna 172 õppelendude müra Tartu lähialas, vesilennukite piloteerimise eripärasid ning võimalikke kasutusvaldkondi Eestis. Kaks üliõpilast kirjutasid lahti alateemad Lennuakadeemia MOOC-kursusele „Non-powered aircraft“. Kuigi lennukoolitusosakond soovib esile tõsta ainult kaks esimest tööd, siis tublid olid kõik ning siinkohal on sobiv meelde tuletada, et teinekord on tulemustest olulisem protsessi käigus õpitu.

Meelis Koovit

Lennukoolitusosakonna koolitusjuht

EESTI LENNUAKADEEMIA ÕPIKESKKONNA UURING

STEFAN KULD

Juhendaja Priit Mootse

Märksõnad: valguse hulk, õhu koostis, õpikeskkonna kvaliteet

Sissejuhatus

Õhu koostis ning valgus on osa inimese igapäevaelust ning omavad selles suurt rolli. Samuti mõjutavad need tegurid ka õpikeskkonda ning -tulemusi. Uurimistö teema valikul lähtus autor õpingute ajal täheldatud probleemist valgustusega ning asjaolust, et sarnaste mõõtmiste kogemus oli varasemalt olemas. Lisaks valguse hulga sooviti uurida ka õpperuumide õhu koostist õppepäevade lõikes. Töö eesmärk on välja selgitada, kas valguse hulk ning õhu koostis Eesti Lennuakadeemia õpperuumides vastavad kehtestatud normidele.

Uurimistö hüpotees eeldab, et CO₂ ning valguse tase püsivad õppepäevade jooksul kehtestatud normide piires.

Andmeid koguti kuue õppepäeva jooksul kahes erinevas auditooriumis. Kummaski ruumis viidi läbi kolm mõõtmist. Mõõtmisvahendina kasutati Vernier LabQuest riistvara ning andmetötluseks Logger Lite 1.5 tarkvara.

Väikeses auditooriumis A102 teostati mõõtmised 25.–27. aprillini 2017 ning suures auditooriumis B203 ajavahemikus 2.–4. mai 2017. Ruumide valikul lähtuti auditooriumite erinevusest, et hinnata, kas õpperuumi suurus mõjutab õpikeskkonna kvaliteeti. Andmete kogumist alustati valitud õppepäevadel enne plaaniliste loengute algust ning mõõtmised lõpetati pärast viimase loengu lõppu.

Sisu ja tulemused

Uurimistö koosneb neljast peatükist, mis on omakorda jaotatud alapeatükkideks. Esimene peatükk käsitleb õhu koostist ning annab ülevaate hapniku ning süsihappegaasi mõjust organismile. Välja on toodud Eesti Vabariigis kehtiv seadusandlus õhu koostise kohta õpperuumides. Teises peatükis tutvustatakse valgust ja selle mõju õpikeskkonnale, ning lisaks Eestis kehtivaid seadusi ja norme valguse hulga seadumise kohta. Täiendavalt on välja toodud soovitusel valguse hulga suurendamiseks. Kolmandas peatükis antakse ülevaade uurimuses kasutatud mõõtmisvahenditest. Neljandas peatükis

tutvustatakse uurimismetoodikat ning teostatakse andmete analüüs.

Uurimistöö tulemusena selgus, et Eesti Lennuakadeemia õpperuumides A102 ja B203 oli valguse ning hapniku tase õppepäeva jooksul normide piires, kuid süsihappegaasi tase tõusis üle lubatu nii suures (B203) kui ka väikeses (A102) auditooriumis.

Järeldusena leiti, et ruumide tuulutamine, üliõpilaste lahkumine auditooriumist ning ventilatsioonisüsteem alandavad süsihappegaasi taset ja parandavad tekkinud olukorra suhteliselt kiiresti. Valgustussüsteem jäi kohati passiivseks ning valguse intensiivsust tuli lülititest manuaalselt muuta.

Uurimuse hüpotees pidas osaliselt paika. Vaid süsihappegaasi tase väljus õppepäeva jooksul normide piirest.

Ettepanekuna on välja toodud käesoleva uurimistöö edasiarendus lõputööks. Tehes enam mõõtmisi rohkemates mõõtmispaikades ja viies läbi rahuloluküsitlusi, on hüpoteesi võimalik täpsemalt uurida ning dokumenteerida.

S. Kuld. *Eesti Lennuakadeemia õpikeskkonna uuring:* uurimistöö, juhendaja Priit Mootse. Eesti Lennuakadeemia, Ülenumre 2017.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisladab 7 allikat.

SUMMARY

RESEARCH ON THE LEARNING ENVIRONMENT OF ESTONIAN AVIATION ACADEMY

Keywords: amount of light, composition of air, quality of learning environment

The purpose of this research is to find out whether the composition of the air and the amount of light in the learning environment of Estonian Aviation Academy is sufficient to meet the requirements established in *Riigiteataja* (Engl. *State Gazette*).

The research consists of four parts. The first part is about the composition of air, its influence on humans. The second part analyses light and its influence. The third part gives an overview of the devices used to gather information. The

fourth part analyses the information gathered and draws conclusions.

The hypothesis of the research was that the work environment in Estonian Aviation Academy meets the official requirements stated in *Riigiteataja*.

In conclusion of the research it can be said that the concentration of CO₂ during lectures rises above the limits fixed in *Riigiteataja*, but the amount of O₂ in the air remains almost the same. In order to reduce CO₂ levels, the research suggests to make breaks and open the windows during and in between lectures.

CESSNA 172 ÕPPELENDEDE MÜRA MÕÕTMINE TARTU LENNUJAAMA LÄHIALAS

MÄRT MUSTKIVI
Juhendaja Signe Vanker (MA)

Märksõnad: lennundusmüra, õppelennud, Tartu Lennujaam

Sissejuhatus

Käesoleva uurimistöö teemaks on müra ja selle mõõtmine Tartu lennujaama lähialasse jäävates elamurajoonides. Müramõõtmised teostati ajal, kui sooritati õppelende lennuväljaringil lennukiga Cessna 172. Teema valik on ajendatud Soinaste küla ja Ülenurme aleviku elanike kaebustest, mis on jõudnud e-kirja teel Eesti Lennuakadeemia töötajateni. Kaebused viitavad, et müra on häiriv siis, kui toimuvad õppelennud just lennuväljaringil. Varasemalt on Tartu lähialas uuritud põhiliselt liinilendude ja teise õppelendudeks kasutatava lennuki, Piper Navajo, müra mõju.

Uurimistöö põhiliseks eesmärgiks on välja selgitada õppelendude tekitatud müratase asukohtades, kust on tulnud eelmainitud kaebused, ja uurida mõõtmiste vastavust erinevatele kehtestatud määrustele ja regulatsioonidele. Selleks viidi läbi müra mõõtmised ning hilisem mõõtmistulemuste analüüs. Lisaks on töö eesmärgiks saada ülevaade müra olemusest, selle mõjust inimesele, lennundusmüra olemusest ja viimase vähendamise meetoditest.

Uurimistöö hüpoteesiks on, et õppelennuki Cessna 172 tekitatud müratase ei ületa regulatsioonidega kehtestatud müranorme ja et müra häirivus tuleneb põhiliselt sündmuste (õppelendude) sagedasest esinemisest.

Sisu ja tulemused

Töö on jagatud neljaks peatükiks. Esimene peatükk annab ülevaate müra olemusest ja selle mõjust inimesele. Lisaks käsitleb esimene peatükk lennundusmüra ja selle vähendamise meetodeid. Teine peatükk keskendub lennundusmüra regulatsioonidele ja toob välja erinevad müra norm- ja piirtasemed. Kolmas peatükk annab ülevaate õppelendudest Tartu lennuväljaringil ja lennukist Cessna 172. Neljas peatükk keskendub autori poolt läbi viidud müra mõõtmistele ja nende tulemuste analüüsile. Lisaks on välja toodud järeldused mõõtmistulemuste kohta ja ettepanekuid olukorra parandamiseks.

Mõõtmistulemuste (tabel 1) analüüsil selgus, et ükski mõõdetud müratase ei ületanud päevase liiklusemüra kriitilist taset (tabel 2) ega ka alla 9000 kg kaaluva propellerlennuki mürataseme piirväärtust (tabel 3). Kõige kõrgemale ulatus müratase kahel mõõtmisel – Tõusu tee mõõtmispaigas, kui õppeleennuk lendas pärituuleosal, ja Mõisniku mõõtmispaigas, kui lennuk oli tõusul raja 08 külgtuuleosal.

Tabel 1. Mõõtmistulemused.[autori mõõtmised]

Mõõtmiskoht	Mõõtmise kirjeldus	Keskmine helirõhutase (dBA)	Maksimaalne helirõhutase (dBA)	Märkused
Tõusu tee	Ilma lennukita	39,2	-	
	Raja 08 pärituuleosa, 1000 ft AMSL	48,6	59,5	Lennuk lendas üle natuke eemalt
		52,2	68,2	
		54,8	67,1	
Mõisniku	Ilma lennukita	42,0	-	
	Laskumisel, raja 26 parem baasosa	43,7	47,3	
	Tõusul, raja 08 külgtuuleosa	52,7	67,0	
		52,8	68,2	

	Tõusul, raja 08 parem külgtuuleosa	47,5	50,3	Lennuk keeras natuke varem paremale
		52,9	60,4	

Tabel 2. Liiklusrüüra normtasemed II kategooria² aladel.[14]

	Liiklusrüüra piirväärtus (dBA)
Päeval	60
	65 ¹
Öösel	55
	60 ¹

¹müra tundliku hoone teepoolse küljel

²haridusasutuste, tervishoiu- ja sotsiaalhoolekande-asutuste ning elamu maa-aladel, rohealadel

Tabel 3. Müra taseme piirväärtused (M – suurim lubatud stardimass/100).[9]

Suurim stardimass (*100 kg)	0	0,6	1,5	9,0
Müra tase (dBA)	68	60 + 13,33M		80

Järeldusena leiti, et peamiseks õppelendude müra häirivuse põhjuseks Tartu lennujaamas on nende sage toimumine elamurajoonide kohal, võrreldes näiteks liinilendudega, mis hõlmavad endas vaid üht saabumist ja väljumist päevas.

Seega sai kinnitust ka uurimistöö hüpotees, milleks oli, et õppelennuki Cessna 172 poolt tekitatud müratase ei ületa regulatsioonidega kehtestatud müranorme ja et müra häirivus tuleneb põhiliselt sündmuste (õppelendude) sagedasest esinemisest.

Üheks ettepanekuks olukorra parandamiseks toodi välja see, et kinnisvaraarendajad võtaksid uusi elamurajoone rajades arvesse lennujaama lähedust ja Tartu lennujaama puhul eriti just seda, et valdava osa lendudest moodustavad õppelennud, mis toimuvad üsna sagedasti lennuväljaringil. Kindlasti tuleks tulevasi elanikke ka rohkem informeerida, et nad teaksid kohaliku müraolukorraga paremini arvestada ja selle peale oma otsuste langetamisel mõelda.

M. Mustkivi. *Cessna 172 õppelendude müra mõõtmine Tartu lennujaama lähialas:* uurimistöö, juhendaja S. Vanker (MA). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud kirjanduse loetelu sisaldab 14 allikat.

SUMMARY

NOISE MEASUREMENT OF CESSNA 172 TRAINING FLIGHTS IN TARTU CONTROL ZONE

Keywords: aviation noise, training flights, Tartu Airport

The topic of the research paper is noise and its measurement at housing estates in the control zone of Tartu airport. The choice of this topic is motivated by complaints that have reached the personnel of Estonian Aviation Academy originating from people who live in Ülenurme hamlet and Soinaste village. These complaints refer to the noise disturbance during training flights conducted in the traffic circuit. In the past, research has been done on the noise created by regular flights and another airplane Piper Navajo, which is also used for training flights.

The main aim of the research paper was to determine the noise levels caused by training flights at the places where the aforementioned complaints originate from and to examine the conformity of these levels to different regulations. For that purpose, noise measurements during training flights of Cessna 172 were made and the analysis of the results was performed. In addition, the goal was to provide an overview of the nature of the noise, its influence upon people, the nature of aviation noise and the methods to reduce aviation noise.

The hypothesis of the research paper was that the noise emitted by Cessna 172 does not exceed any of the levels set by regulations and that the noise disturbance is mainly caused by frequent occurrence of training flights.

The paper consists of four chapters. The first chapter gives an overview of noise and its impact upon people. Also, aviation noise and the methods of reducing it are discussed in the first chapter. The second chapter focuses on the regulations of aviation noise. The third chapter addresses training flights in the traffic circuit of Tartu airport and the Cessna 172 airplane. The fourth chapter presents the results and analysis of the noise measurements that were performed.

The analysis of the results showed that none of the measured noise levels exceeded the critical daytime traffic noise level. In addition, the level set for propeller airplanes with a takeoff mass lower than 9000 kg was also not exceeded. The highest noise level was achieved during two measurements. Firstly, in Soinaste village when the airplane was flying the downwind leg and, secondly, in Ülenurme hamlet when the aircraft was climbing during the crosswind leg.

The conclusion drawn from the analysis was that the main reason for the noise disturbance caused by training flights in the vicinity of Tartu airport is their frequent occurrence above housing estates compared to regular flights, which comprise only one arrival and departure a day. Therefore, the hypothesis of this paper was confirmed.

There were also some suggestions made to improve the situation. For example, while planning new housing estates, the developers should consider the vicinity of an airport, especially in Tartu, where major part of the flights conducted are training flights. Furthermore, future residents should be informed about the situation so that they could consider that while making decisions.

LENNUNDUSETTEVÕTTE KÄITAMINE

SAATEKS

Lennundustegevuse korralduse osakonnal on hea meel tõdeda, et eelnevatel aastatel plaanitud muudatused õppekavas ja õppeainetes on ellu viidud. Selle tulemusena on paranenud nii õppe kvaliteet kui üliõpilaste rahulolu. Viimastel aastatel oleme suutnud hoida üliõpilaste vastuvõtuarvu 15 piires, mis tagab piisava lõpetajate arvu ja loob õppemetoodiliselt paremad eeldused ainete õpetamiseks ja omandamiseks. Positiivne on see, et suurenenud konkurss õppekohale on jõudnud tasemele, kus nii õelda joone alla jääjate hulk on sama suur kui õppima pääsenute oma. Samuti paistab silma, et konkursil välja langenutest mitmed tulevad järgmisel aastal uuesti ja olles end vahepeal täiendanud, konkureerivad nüüd edukalt. See viitab kõrge motivatsiooni olemasolule omandamiseks just lennundusettevõtte käitamise eriala.

Aastatel 2016–2017 kaitses osakonnas oma lõputöö 15 üliõpilast. Tööde erinev arv aastate lõikes tuleneb otseselt vastuvõtudünaamikast. 2016. a lõpetanud kursus alustas üldse **kuue** üliõpilasega. Parimad lõputööd on toodud lühikokkuvõtetena ära praeguses kogumikus. Kahte lõputööd, mis oleks samuti väärinud siinses kogumikus avaldamist, ei saanud kahjuks publitseerida neis sisalduva tundliku informatsiooni tõttu. Positiivne on see, et enamik lõpetanutest on leidnud endale erialase töö lennundussektoris. Järgnevalt toodud lõputööde teemadest on paljud seotud konkreetse ettevõttega, kus üliõpilased viibisid praktilal, mille käigus koos ettevõttepoolse juhendajaga jõutigi mõne lahendust või analüüsi vajava probleemi. Nii on tagatud lõputööde praktiline väärtus ning tihe side omandatud teoreetiliste teadmiste ja praktika vahel.

2016. aastal kaitsstud lõputööd käsitlesid järgmisi teemasid:

- 1) Lennukite kaubaruumi kasutamise majanduslik efektiivsus Finnair Oy näitel;
- 2) Dokumentatsiooni haldamise optimeerimine jätkuvat lennukõlbulikkust korraldavas organisatsioonis AS-i Avies näitel;
- 3) Renditööjõu kasutusvõimalused lennunduse valdkonnas;
- 4) EUROCONTROL-i liikmelisuse tulemused esimesel liitumisaastal.

2017. aastal kaitsstud lõputööd käsitlesid järgmisi teemasid:

- 1) Eesti Lennuakadeemia ja teiste Euroopa lennunduskõrgkoolide õppekavade võrdlus;
- 2) Eesti Lennuakadeemia digitaalturunduse strateegia loomine;

- 3) Õhusõidukite liinihoolduse ühisele digiplatvormile viimine Magnetic MRO näitel;
- 4) Praktilise seiresüsteemide koolituse mudeli formuleering ja tasuvusanalüüs;
- 5) Lennundusettevõtte turunduskanalite analüüs Nordica näitel;
- 6) Baltikumi lennundusturu analüüs;
- 7) Lennupileti hinna kujunemine Scandinavian Airlinesi näitel;
- 8) Reisijate teeninduse arendamine lennujaama reisiterminalis Tallinna lennujaama näitel;
- 9) Õhusõidukite tehnohooldesektori kasvuvaldkondade analüüs;
- 10) Ennetavate ohutusindikaatorite väljatöötamine Panaviatic AS-le;
- 11) Finnair BOSE teenuskeskuse tegevus- ja tulemusmõõdikute analüüs.

Järgneva paari aasta jooksul on plaanis parandada üliõpilaste praktikatega seonduvat. Oleme pidanud läbirääkimisi mitme lennundusettevõttega muutmaks neid meie üliõpilaste uuteks praktikabaasideks. Samuti oleksime huvitatud mõne välispartneri leidmisest, kelle juures üliõpilased saaksid omandada erialaseid praktilisi teadmisi. Osakonna üliõpilased kasutavad küll aktiivselt ERASMUS-programmiga seotud võimalusi käies vahetusüliõpilasena õppimas nii Hollandis, Prantsusmaal kui Poolas, kuid need on seotud rohkem teoreetiliste ainete ja sidemete loomise kui erialase sihtsuunitlusega praktikaga.

Samuti tuleb jätkata tegevusi, mis on seotud eriala populariseerimise ja tutvustamisega gümnaasiumites, et tagada üliõpilaste järelkasv. Osakonnal ei ole plaanis muuta ei vastuvõtutingimusi ega osakonna nime, kuna leiame, et asjad, mis toimivad, ei vaja ilmtingimata muutmist. Oluline on pakkuda üliõpilastele korralikke teadmisi, millega oleks võimalik end tööturul erialaselt rakendada.

Priit Pajuste

Lennundustegevuse korralduse osakonna juhataja

BALTIKUMI LENNUNDUSTURU ANALÜÜS

ALLAN SUIMETS

Juhendaja Allan Nõmmik (MSc), konsultant Mantas Vrubliauskas

Märksõnad: Balti riikide lennutranspordi turg, lennundusturu prognoosid

Sissejuhatus

Ülemaailmne nõudlus reisimise järele on kasvamas, kuid see kasv on regiooniti väga erinev. Suurimat nõudluse tõusu oodatakse Aasia ja Aafrika mandritel, sest keskklassi jõudvate inimeste arv on kiires kasvus. Euroopa reisijate nõudluse kasv on pigem tagasihoidlik.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on Balti riikide lennutranspordi turu kasvu prognoosimine aastateks 2017 kuni 2023. Selle tarbeks on kasutatud baasprognoosidena Airbusi ja Eurocontrol'i prognoose. Lisaks eelnevalt mainitud prognoosidele, on autor koostanud trendianalüüsi. Antud lõputöö aktuaalsus seisneb selles, et Eesti, Läti ja Leedu lennujaamad saaksid paremini planeerida investeringuid infrastruktuuri ja arvestada potentsiaalset lisatulu teenuste ja kaupade müügist. Lennuettevõtted saavad prognoose kasutada lennupargi ja lennuliinide planeerimiseks.

Esimeses peatükis tuuakse välja iga riigi kohta eraldi turgude kirjeldused ja nende suurused.

Teises peatükis käsitletakse uurimise praktilist poolt, kus tuuakse välja prognooside kirjeldused, arvutuskäigud ja nende tulemused.

Kolmandas peatükis tuuakse välja iga prognoosi tugevused ja nõrkused ning iga riigi kohta eraldi tulemuste koondtabelid.

Sisu ja tulemused

Airbusi prognoosist on välja võetud reise arv ühe elaniku kohta, mida kasutati kogu turu välja arvutamiseks. Airbusi prognoosi nõrgaks küljeks oli vähene ajalooline andmete kättesaadavus, mistõttu põhineb prognoos kõigest 2015. ja 2016. a statistika põhjal. Leedu turu osas vajab ära märkimist, et nt Vilniuse lennujaama kasutajateks on mitte ainult Leedust, vaid ka Valgevenest pärit reisijad. Samuti, Riia lennujaama näitajaid on raske seostada ainult Läti elanike arvuga seetõttu, et antud lennujaama reisijate arvu mõjutab oluliselt ka reisijate transiit, mis tuleneb baseeruva lennuettevõtte ärimudelitest.

Eurocontroli prognoosi sisend tugineb lendude arvu prognoosile, mis tuli lennujaamade statistikat kasutades ümber arvutada reisijate arvu prognoosiks. Eurocontroli prognoos sisaldab kolme erinevat stsenaariumit – kõrge (H), baas (B) ja madal (L). Prognoosi nõrgaks küljeks oli eelkõige asjaolu, et kasutati saabuvate/väljuvate lendude ja ülelendude arvu suhte konstanti, millel on suur mõju tulemusele. Tugevaks küljeks oli aga kolme erineva stsenaariumi olemasolu ja mitmete oluliste tegurite arvestamine prognoosi koostamisel.

Trendianalüüs käsitleb reisijate arvu kasvu lennujaamade väljastatud statistika põhjal. Autori hinnangul ei osutunud trendianalüüs kõikide turgude osas usaldusväärseks seetõttu, et Läti ja Leedu prognoosi puhul, mille koostamisel kasutati andmeid kuni aastani 2015, selgus, et juba 2016. a tuli erinevus prognoositud ja reaalse näitaja vahel suurem kui 500 000 reisijat. Eesti turu prognoos oli aga ligilähedane reaalsele 2016. aasta reisijate arvule.

Kõik kasutatud prognoosid näitavad tugevat kasvu Balti riikides. Tabelitest 1, 2 ja 3 on näha, et kõige positiivsem on Eurocontroli stsenaariumi H põhjal tehtud prognoos. Eesti kohta andis antud stsenaarium tulemuseks 3 721 535 reisijat 2023. aastaks (vt tabel 1). Kõigest 100 000 reisija võrra madalam prognoos tuli Airbusi prognoosi algandmeid kasutades. Kõige pessimistlikuma tulemuse andis trendianalüüs – 2 845 470 reisijat.

Tabel 1. Eesti reisijate arvu prognooside tulemused

Eesti	Airbus	Eurocontrol			Trendi-analüüs
		H	B	L	
2017	2 514 631	2 438 479	2 403 610	2 368 742	2 336 952
2018	2 702 054	2 622 209	2 552 559	2 481 404	2 421 705
2019	2 889 287	2 817 538	2 679 709	2 546 327	2 506 458
2020	3 076 077	3 048 295	2 827 593	2 650 223	2 591 211
2021	3 262 131	3 261 170	2 964 091	2 729 180	2 675 964
2022	3 447 208	3 486 550	3 114 198	2 816 987	2 760 717
2023	3 631 197	3 721 535	3 266 609	2 905 750	2 845 470

Allikas: Autori koostatud

Eesti turul on hetke suurim lennuettevõtte Nordic Aviation Group. Samuti tuli Eesti turule lennuettevõtte Rusline lendudega Tallinna ja Peterburi vahel. Ka British Airways alustas lendamist London–Heathrow ja Tallinna vahel ning võib lisada tänasele graafikule lende juurde. See kõik annab põhjust uskuda, et reisijate arv Tallinnas lähiaastatel kasvab.

Tulemused Läti turu kohta on toodud tabelis 2. Kõige kõrgemat reisijate arvu lubab Eurocontrol'i stsenaariumi H põhjal tehtud prognoos, 8 816 151 reisijat. Sellele järgneb trendianalüüsi järgi prognoositav reisijate arv, ulatudes 2023. aastaks 8 528 349 reisijani. Kõige madalama tulemuse andis Eurocontrol'i stsenaariumi L põhjal tehtud prognoos tulemusega 6 725 856 reisijat aastaks 2023.

Läti turu prognoose vaadeldes on samuti näha, et reisijate arvu kasv saab olema kiire. Seda toetab esimeses peatükis väljatoodu, et Air Baltic Corporation AS kavatses tugevasti laieneda. Ettevõtte suurendab lähiaastatel oma lennukiparki vähemalt kaheksa lennuki võrra. Ka teised ettevõtted lisavad lende Riia Lennujaama, ja kuna airBalticul on Riia Lennujaamas üle 50% osakaal, siis võivad odavlennufirmad sinna tugevamalt sisenema hakata, mis omakorda stimuleerib turgu. AirBalticu kasvades tõuseb pigem transiitreisijate arv kui kohalike reisijate arv. Riia Lennujaam avas ka uue terminali, mistõttu ei tohiks neil probleeme reisijate läbilaskevõimekusega tulla.

Tabel 2. Läti reisijate arvu prognooside tulemused

Läti	Airbus	Eurocontrol			Trendi-analüüs
		H	B	L	
2017	5 809 408	6 055 227	5 958 207	5 861 186	6 425 421
2018	6 167 623	6 446 389	6 245 515	6 053 818	6 775 909
2019	6 518 461	6 898 727	6 504 842	6 144 150	7 126 397
2020	6 862 398	7 400 203	6 791 438	6 326 893	7 476 885
2021	7 246 115	7 851 060	7 045 553	6 447 227	7 827 373
2022	7 572 154	8 325 496	7 327 356	6 586 541	8 177 861

2023	7 937 367	8 816 151	7 609 540	6 725 856	8 528 349
-------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Allikas: Autori koostatud

Leedu turu prognooside tulemusi (vt tabel 3) vaadeldes on samuti näha tugevat kasvu, nagu ka Eesti ja Läti puhul. Leedu puhul toetab kasvu eelkõige odavlennufirmade väga tugev positisoon Vilniuse ja Kaunase lennujaamades. Ka Palanga lennujaamas on mitu rahvusvahelist lennuliini, mis toetavad reisijate arvu kasvu. Kuna odavlennufirmad arenevad väga kiiresti, siis võib oodata ka lendude lisandumist Leedu turule, mis jällegi stimuleerib turgu. Nagu Tallinna Lennujaamal, on ka Vilniuse Lennujaamal probleem reisijate läbilaskevõimekusega. Lennujaam võib sellise kasvuprognoosi juures juba lähiaastatel liiga väikeseks jääda, et kogu prognoosi lubatavat kasvu toetada.

Tabel 3. Leedu reisijate arvu prognooside tulemused

Leedu	Airbus	Eurocontrol			Trendi-analüüs
		H	B	L	
2017	4 945 786	5 447 827	5 359 792	5 276 935	4 489 731
2018	5 237 507	6 007 231	5 825 077	5 651 264	4 749 561
2019	5 462 926	6 623 029	6 250 124	5 920 533	5 009 390
2020	5 738 140	7 282 083	6 714 244	6 285 426	5 269 220
2021	6 004 530	7 918 253	7 152 817	6 583 840	5 529 049
2022	6 262 283	8 582 498	7 618 019	6 894 824	5 788 878
2023	6 566 633	9 274 570	8 096 970	7 205 809	6 048 708

Allikas: Autori koostatud

A. Suimets. *Baltikumi lennundusturu analüüs:* lõputöö, juhendaja Allan Nõmmik (MSc), konsultant Mantas Vrubliauskas. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 22 allikat.

SUMMARY

ANALYSIS OF AIR TRANSPORTATION MARKETS IN THE BALTIC STATES

Keywords: Baltic air transportation markets, forecasts for air transportation markets

The purpose of this graduation thesis is to analyse air transportation markets of the three Baltic countries and their potential increase in passenger demand for the period of 2017 to 2023. The primary assignment is to forecast the passenger demand based on Airbus, Eurocontrol and trend analyses. The second assignment is to give an overview of the current market situation.

The research is carried out to see how much potential each country's – Estonian, Latvian and Lithuanian market has. The thesis includes three different forecasts and points out the strengths and weaknesses of the results of each forecast which lets every reader choose the preferred one. Based on the forecasts' results, Estonian, Latvian and Lithuanian airports could easily forecast their future investment needs for terminals and other infrastructure. The author understands that each forecast has its advantages and disadvantages. Therefore, giving priority to one forecast ahead of another would not give the needed outcome. Every forecast can be used for different purposes and for each case the most suitable one should be chosen.

PRAKTILISE SEIRESÜSTEEMIDE KOOLITUSE MUDELI FORMULEERING JA TASUVUSANALÜÜS

KARINA KÖÖRNA

Juhendaja Gen Vagula, konsultant Priit Pajuste (MSc)

Märksõnad: praktiline seiresüsteemide koolitus, lennuliikluse insener-tehniline personal ehk ATSEP

Sissejuhatus

2017. aastal andis Euroopa Liidu Komisjon välja rakendusmääruse 2017/373, milles sätestatakse ühisnõuded lennuliikluse korraldamise, teenuseosutajate ja aeronavigatsiooniteenuste järelevalve suhtes. Eelnimetatud määruse tõttu tuleb organisatsioonidel tagada insener-tehnilise personali ATSEP-koolitusprogrammi läbimine. ATSEP (*Air Traffic Safety Electronics Personnel*) ehk lennuliikluse insener-tehniline personal tegeleb operatsioonilist ohutust mõjutavate tegevustega ehk nad käitavad ja hooldavad lennuliikluse korraldamiseks kasutatavaid seadmeid.

Lõputöö eesmärgiks on anda ülevaade ATSEP-koolitusest ning välja selgitada insener-tehnilise personali praktilise seiresüsteemide koolituse vajadus. Tulemustest lähtuvalt analüüsitakse koolitusprojekti rakendamise tasuvust.

Käesolev lõputöö jaguneb kolmeks peatükiks. Esimeses peatükis selgitatakse ATSEP-koolitust reguleerivaid dokumente, selgitatakse mõistet „insener-tehniline personal“, tuuakse välja EU rakendusmääruses 2017/373 kehtestatud nõuded ning kirjeldatakse ATSEP-koolituse tasemeid ja sisu. Viimases alapeatükis kirjeldatakse insener-tehnilise personali koolitamisega tegelevate organisatsioonide vajadusi.

Teises peatükis antakse ülevaade Eestis kasutusel olevatest seiresüsteemidest ja -seadmetest. Lisaks tuuakse välja organisatsioonide ja autori ettepanekud, millised võiksid olla lahendused praktiliste oskuste arendamisel ATSEP-koolitustel.

Kolmandas peatükis analüüsitakse ettepanekute põhjal välja pakutud ühe võimaliku lahenduse tasuvust. Praktilise simulatsiooni kohta on koostatud kulumudel ning analüüs. Kogukulu arvutamisel kasutatakse COCOMO kulumodelit. Lisaks tuuakse välja ATSEP-koolituse maksumus nii baas- kui ka

kvalifikatsioonikoolituse kohta. Lõpetuseks formuleeritakse praktilise koolituse üks võimalik mudel.

Sisu ja tulemused

ATSEP-koolitus on jaotatud nelja ossa. Järgnev joonis kirjeldab üldist ATSEP-treeningut.



Joonis 1. ATSEP-koolituse tasemed

Praktilise seiresüsteemide koolituse mudel võiks koosneda ATSEP-koolituse tasemetest ning süsteemi/seadme pädevuse koolituse juurde võiks kuuluda ka harjutused tarkvaralisel süsteemil.

Läbiviidud intervjuudest selgus, et organisatsioonidel on vajadus pigem tarkvaralise kui riistvaralise seiresüsteemi simulaatori järgi. Riistvaraline lahendus ei sobi, kuna tänaseks on tehnilise toe osutamise meetodid ajas muutunud võrreldes varasemaga. Probleemide korral vahetatakse välja pigem riistvaraline moodul, mille viga avastatakse läbi tarkvaralise kasutajaliidese. Lisaks on insener-tehnilise personali ülesanded muutunud järjest enam

tarkvarapõhisteks. Suuremahulisemad riistvaraga seotud tööd on delegeeritud hoolduse ja tehnilise toe lepingute kaudu tootjafirmadele.

Toetudes organisatsioonide vajadustele ja hooldatavatele seadmetele/süsteemidele leiab autor, et tarkvaralise seiresüsteemi simulaator peaks koosnema järgnevatest moodulitest: müra ja häired, liikuv objekt, saatja, vastuvõtja, antenn ja kasutajaliides, kuna need konkreetsed moodulid katavad ära tarbija põhilised vajadused. Tarkvaralises süsteemis peaks olema võimalus valida erinevate seiresüsteemide vahel ja koostöös organisatsioonidega leida lahendus BITE-informatsiooni simuleerimise probleemile.

Käesolevas lõputöös kasutati COCOMO mudelit, et välja selgitada organisatsioonide ja autori ettepanekute ellu viimiseks vajamineva investeeringu suurus. COCOMO mudeli abil on võimalik prognoosida eeldatavat kulu vajamineva tarkvara arendamisele.

Intervjuude käigus selgitati välja, et organisatsioonide ootused kvalifikatsiooni-koolituse praktilise osa mahule oleks ligikaudu 20%. Jätukukoolituse puhul olid ootused praktilise osa mahule 10%, hädaabi koolitusele 90% ja ümberõppe koolitusele 50%.

Kokkuvõte

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli anda ülevaade ATSEP-koolitusest ning välja selgitada insener-tehnilise personali praktilise seiresüsteemide koolituse vajadus. Tulemustest lähtuvalt analüüsiti praktilise lahenduse tasuvust.

Oma lõputöös andis autor ülevaate ATSEP-koolituse tasemetest ja sisust. Selgitati välja insener-tehnilise personali koolitamisega tegelevate organisatsioonide vajadused. Toodi välja EU rakendusmääruse 2017/373 nõuded. Lisaks kirjeldati erinevaid seiresüsteeme ja -seadmeid. Käesoleva töö kolmandas osas kajastati organisatsioonide ja autori ettepanekute põhjal välja pakutud tarkvaralise simulatsiooni tasuvust. Tasuvuse uurimiseks kasutati tarkvara kogukulu välja selgitamiseks COCOMO kulumudelit ning koostati kulumudeli analüüs.

Intervjuude käigus selgus, et organisatsioonide ootusteks on arvutisimulatsiooni tarkvaralahendus, mis oleks disainitud radartehniku väljaõppe vajadustest lähtuvalt, kuna enamik turul olevatest radarsimulaatoritest on seireoperaatori/lennujuhi õppeks loodud tooted. Lennuliiklusteeninduse AS-i ootused kvalifikatsioonikoolituse praktilise osa mahule oleks ligikaudu 20%.

Jätkukoolituse puhul olid ootused praktilisele osale 10%, hädaabi koolitusele 90% ja ümberõppe koolitusele 50%.

Toetudes organisatsioonide vajadustele ja hooldatavatele seadmetele/süsteemidele leiab autor, et tarkvaralise seiresüsteemi simulaator peaks koosnema järgnevatest moodulitest: müra ja häired, liikuv objekt, saatja, vastuvõtja, antenn ja kasutajaliides, kuna need konkreetset moodulid katavad ära tarbija põhilised vajadused. Projekti käivitamisel oleks tasuvusajaks viis aastat, mille kogusumma on 684 320 €. See on 7390 € rohkem, et teenida tasa esialgsed kulutused projekti käivitamiseks.

Praktilise seiresüsteemide koolituse mudel võiks koosneda ATSEP-koolituse tasemetest ning süsteemi/seadme pädevuskoolituse juurde võiks kuuluda ka harjutused tarkvaralisel süsteemil. Lõputöös teostatud analüüsile tuginedes on autor jõudnud järeldusele, et tarkvaraline simulatsioon annaks olulist lisandväärtust ATSEP-koolitusele nii teadmiste parema kinnitumise kui ka uute teadmiste lisandumisega alates kvalifikatsioonikoolitusest. Järgnevas etapis oleks tarkvaralise simulatsiooni loomisel nõuete konkreetne kaardistamine koostöös erialaspetsialistide ja tarkvara arendajatega.

K. Kõörna. *Praktilise seiresüsteemide koolituse mudeli formuleering ja tasuvusanalüüs:* lõputöö, juhendaja Gen Vagula, konsultant Priit Pajuste, MSc. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud kirjanduse loetelu sisaldab 36 allikat.

SUMMARY

PRACTICAL SURVEILLANCE TRAINING AND COST-BENEFIT ANALYSIS

Keywords: practical surveillance training, Air Traffic Safety Electronics Personnel - ATSEP

This graduation thesis focuses on the problems regarding Air Traffic Safety Electronics Personnel (ATSEP) practical surveillance training. The EU Commission Implementing Regulation (EU) 2017/373 lays down common requirements concerning service providers and the oversight of air traffic management/air navigation services and other air traffic management network functions. Annex XIII defines the requirements for service providers in regard to personnel training and competence assessment. At the same time there is a lack

of ATSEP practical training as based on service providers' opinion. ATSEP training is divided into four phases: initial training, S/E rating training, continuation training and development training. Practical training is optional in initial phase and starts from S/E rating training.

The aim of this thesis is to find out the need for practical training in surveillance from the very beginning, to suggest the practical training method and carry out the cost-benefit analysis for suggested surveillance simulation.

The thesis consists of three chapters:

Chapter 1 describes the current situation in ATSEP training and the service provider's needs. Chapter 2 gives an overview of surveillance systems and equipment in Estonia and suggests practical software simulation. Chapter 3 discusses the methodology of the cost-benefit analysis carried out, analyses the received data and provides suggestions.

Based on the analysis, the author has drawn the following conclusions:

- Based on service providers' needs, the practical training in surveillance should start from the initial qualification training;
- Software simulation could add value to ATSEP training as it facilitates better knowledge reinforcement.

EESTI LENNUAKADEEMIA ÕPPEKAVADE VÕRDLUS LENNUNDUSKÕRGHARIDUST PAKKUVATE EUROOPA KÕRGKOOLOIDE ÕPPEKAVADEGA

LAURA REIN
Juhendaja Ants Aaver

Märksõnad: Euroopa lennunduskõrgharidus, õppekavade võrdlev analüüs, Eesti Lennuakadeemia erialad, õppekavamoodulid, õppekavaarendus

Sissejuhatus

Lennundussektori pidev areng tekitab üha suuremat nõudlust innovaatiliste oma ala oskuslike asjatundjate järele. Seetõttu on oluline, et lennundusharidust pakkuvate kõrgkoolide õppekavad oleksid ajakohased ning nende põhjal saaks koolitada kaasaegsetele vajadustele vastavaid spetsialiste. Parim viis nende eesmärkide saavutamiseks on õppekavade pidev analüüs ning arendamine. Käesoleva töö eesmärk on võrrelda Eesti Lennuakadeemia õppekavasid teiste lennundusharidust pakkuvate Euroopa kõrgkoolide õppekavadega. Teostatav analüüs võimaldab hinnata lennuakadeemia õppekavade asjakohasust ning väärtust. Selline arengule orienteeritud hoiak aitab tagada hariduse konkurentsivõimelisuse ning kvaliteedi.

Sisu ja tulemused

Selle lõputöö esimene peatükk tutvustab Eesti Lennuakadeemia viie eriala eripära ning eesmäärke. Vaatluse all on iga eriala õppekava moodulid, nende sisu ja ainete maht.

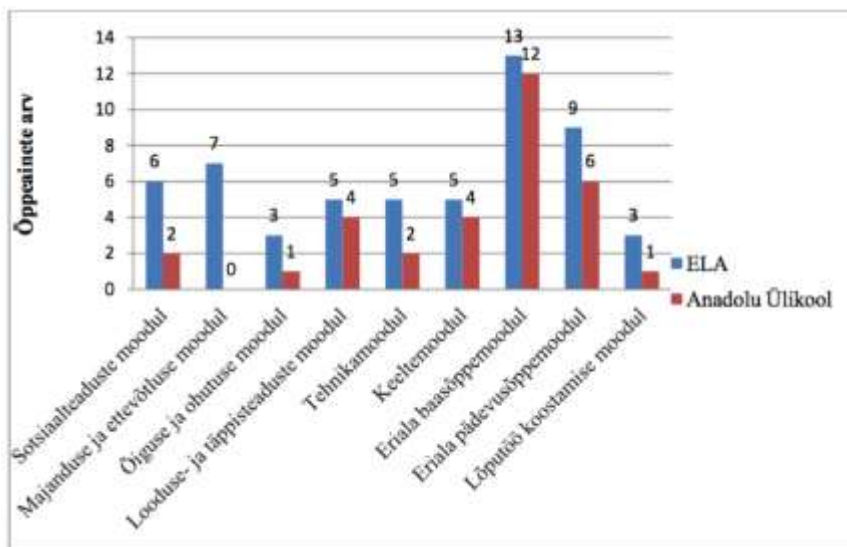
Teise peatüki eesmärk on anda ülevaade lennunduskõrgharidust pakkuvate Euroopa kõrgkoolide õppekavadest. Vaadeldi 49 Euroopa riigi kõrgkooli ning nende bakalaureuse- ja magistritaseme õppekavasid. Nendest riikidest leiti 112 lennundusharidust pakkuvat kõrgkooli, kus on rakendatud kokku 257 õppekava. Kõrgharidustaseme järgi jaotuvad need 171 bakalaureuse- ja 86 magistritaseme programmiks. Tulemused on esitatud tabelis 1. Loetavuse lihtsustamiseks on õppekavade liigitamisel kasutatud Eesti Lennuakadeemia erialade jaotust.

Tabel 1. Õppekavade jaotus taseme ja eriala järgi

Õppekava	Bakalaureuseõpe	Magistriõpe
Lennuliiklusteenindus	7	3
Lennunduse side- ja navigatsioonisüsteemid	25	7
Õhusõiduki juhtimine	23	3
Lennundusettevõtte käitamine	32	14
Õhusõiduki ehitus ja hooldus	84	59

Kolmandas peatükis on esitatud Eesti Lennuakadeemia ja väliskõrgkoolide analoogsete õppekavade võrdlev analüüs. Analüüsi käigus kõrvutati iga Eesti Lennuakadeemia õppekava kahe sarnase sisuga väliskõrgkooli õppekavaga. Viimased valiti välja arvestades kooli tuntust Euroopas, tunnustatust lennunduses ja lõpetajate erialast rakendatust. Võrdluse tulemusena selgus, millises mahus kattuvad võrreldavate õppekavade ained, ning millised on õppekavade suurimad erinevused.

Lennuliiklusteeninduse õppekavade analüüsist selgus, et võrreldes lennuakadeemiaga sisaldavad väliskõrgkoolide õppekavad sotsiaalteaduste ning majanduse ja ettevõtluse aineid väga vähesel määral. Aine, mis on mõlema võrdluskooli õppekavas, kuid Eesti Lennuakadeemia lennuliiklusteeninduse õppekavast sellisel kujul puudub, on lennujaama tehnika. Joonisel 1 on välja toodud Türgis asuva Anadolu Ülikooli ning Eesti Lennuakadeemia lennuliiklusteeninduse õppekavade analüüsi tulemusel leitud õppeainete kattuvused moodulite kaupa.



Joonis 1. Anadolu Ülikooli õppekava ainete kattuvus ELA õppekava kohustuslike ainete mooduli kaupa

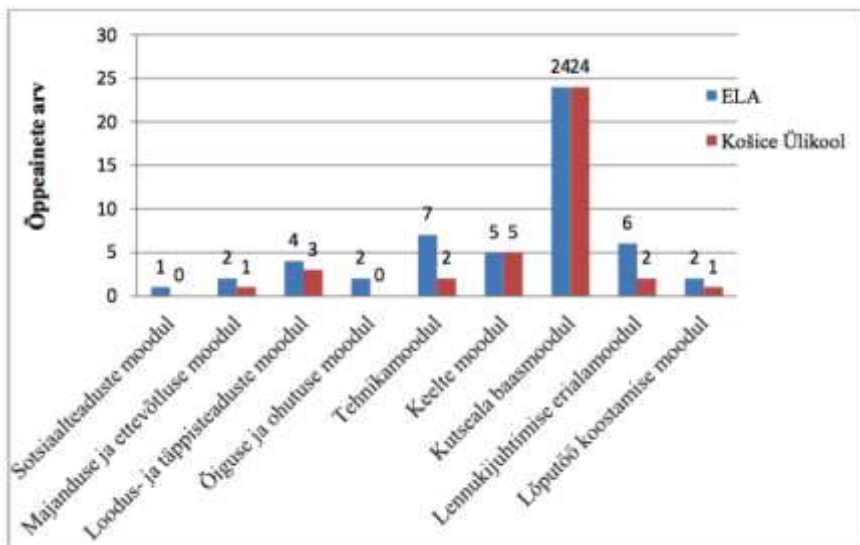
Lennundusettevõtte käitamise õppekavade analüüsist ilmnes, et mõlema väliskõrgkooli õppekavast puuduvad täielikult sotsiaalteaduste ained. Võrreldes väliskõrgkoolidega ei sisalda Eesti Lennuakadeemia lennundusettevõtte käitamise õppekava turismivaldkonnaga seotud õppeained.

Õhusõiduki ehituse ja hoolduse õppekava ainete kattuvus võrdluskoolide õppeainetega on üsna kõrge, seda eelkõige loodus- ja täppisteaduste, tehnika- ning eriala baasmooduli lõikes. Erinevalt väliskõrgkoolide õppekavadest, ei ole lennuakadeemia õppekavas keskkonnakaitse õppeainet.

Lennunduse side- ja navigatsioonisüsteemide õppekavade analüüsist selgus, et Eesti Lennuakadeemia õppekava erineb teistest Euroopa sarnastest programmidest küllaltki palju. Seda eriti side- ja navigatsioonisüsteemide mooduli õppeainete osas. Kõige rohkem langevad kokku loodus- ja täppisteaduste ning tehnikamooduli õppeained.

Õhusõiduki juhtimise õppekavade puhul on näha, et mõlema väliskõrgkooli õppekavad kattuvad Eesti Lennuakadeemia omaga peaaegu täielikult. Erinevused on sotsiaalteaduste ning õiguse ja ohutuse moodulis, millega seotud

aineid teised koolid ei paku üldse või pakuvad vähesel määral. Järgnev joonis 2 näitab, millisel määral sarnaneb Eesti Lennuakadeemia õhusõiduki juhtimise õppekava Slovakkia Košice Ülikooli piloodiõppe õppekavaga.



Joonis 2. Košice Ülikooli õppekava kattuvus ELA õppekava ainetega moodulite kaupa

Kokkuvõte

Lõputöö neljas peatükk annab kokkuvõtliku ülevaate töö käigus tehtud uurimuse ning analüüsi tulemustest. Kajastatud on lennunduskõrgharidust pakkuvate Euroopa kõrgkoolide õppekavade koondtulemused ning järeldused, mis on koostatud Eesti Lennuakadeemia ja väliskõrgkoolide õppekavade võrdluse tulemusel. Lennundusettevõtte käitamise õppekavades on suurimad ühtlanguvused majanduse ja ettevõtluse moodulis, väliskõrgkoolid ei paku aga üldse sotsiaalteaduse aineid. Lennuliiklusteeninduse õppekavad on suurel määral sarnased, erinevuseks on Eesti Lennuakadeemias õpetatavad majanduse ja ettevõtluse ning tehnikamooduli ained. Õhusõiduki ehituse ja hoolduse õppekavade puhul saab peamise erinevusena osutada majanduse ja ettevõtluse ainetel vahetusele väliskõrgkoolides ja keskkonnakaitse aine puudumisele lennuakadeemias. Õhusõiduki juhtimise erialal märkimisväärsed erisusi peaaegu pole. Samas aga on side- ja navigatsioonisüsteemide käitamise eriala puhul

lennuakadeemiaale analoogiliste õppekavade leidmine väga raske ja analüüsi tulemuste rõhutamise võib olla ennatlik. Kokkuvõtteks võib soovitada õppekavade arendamisel kasutada käesoleva uurimuse tulemusi ja kindlasti ka töö lisades toodud väliskõrgkoolide andmestikku.

Antud töö on teostatud eesmärgiga panustada Eesti Lennuakadeemias pakutava hariduse edendamisse, olles üheks vahendiks olemasolevate õppekavade hindamisel ning arendamisel.

L. Rein. *Eesti Lennuakadeemia õppekavade võrdlus lennunduskõrgharidust pakkuvate Euroopa kõrgkoolide õppekavadega: lõputöö, juhendaja Ants Aaver.* Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud kirjanduse loetelu sisaldab 50 allikat.

SUMMARY

COMPARATIVE ANALYSIS OF CURRICULA USED IN ESTONIAN AVIATION ACADEMY AND IN EUROPEAN AVIATION HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Keywords: European aviation higher education, comparative analysis of curricula, specialities of Estonian Aviation Academy, modules of curricula, curriculum development

The purpose of this paper is to evaluate the relevance of Estonian Aviation Academy curricula using European higher education aviation programmes as comparison. The reason for this lies in the objective of providing the highest quality education possible. In order to achieve the goal like this it is essential to constantly appraise and improve the educational curricula that are currently in use. This is done by research and analysis.

The thesis consists of four chapters:

Chapter 1 gives an overview of the five different specialties taught at Estonian Aviation Academy. The outline consists of general information, objectives and graduation requirements for each curriculum. It also gives an overview of the modular course structure and corresponding credits. The specialties are as follows: Air Traffic Services, Aviation Communication and Navigation Systems, Aircraft Piloting, Aviation Management and Aircraft Engineering.

Chapter 2 delves into research of higher education aviation curricula offered by European universities. The research is divided into five parts according to the different regions of Europe. These regions are Northern Europe, Southern Europe, Western Europe, Eastern Europe and Transcontinental Countries. The goal is to find aviation-related Bachelor and Master's degree programmes from each of those regions and sort them by specialty. This information provides an understanding of the current educational opportunities in Europe.

Chapter 3 carries out a comparative analysis of the curricula used at Estonian Aviation Academy and at other European higher education institutions. Each Estonian Aviation Academy curriculum is compared to two European higher education programmes with similar subject content. The goal of this analysis is to identify the amount of overlapping subjects between the curricula of Estonian Aviation Academy and those of foreign universities.

Chapter 4 gives an overview of the results and findings of this comparative analysis. It helps to gain a clear understanding of the outcome of this work. It includes conclusive statistics about European aviation-related higher education curricula and the differences and similarities of the specific programmes compared to Estonian Aviation Academy curricula.

The information gathered within this thesis gives sufficient knowledge of the nature and relevance of Estonian Aviation Academy curricula. It also provides a comprehensive overview of aviation-related programmes offered by other European universities.

LENNUHOOLDUSSEKTORI MAJANDUSMÕJU UURING

KARINA KÖÖRNA, JUHAN HALDRE

Juhendaja Allan Nõmmik (MSc),

konsultandid Priit Rifk, Priit Tinitis, Kristina Ojamäe

Märksõnad: lennuhooldussektor, otsene ja kaudne majandusmõju

Sissejuhatus

Lennuhooldussektori majandusmõju uuringu eesmärgiks on kaardistada lennuhooldussektor ning hinnata selle potentsiaali ja kasu riigile. Uuringu tellis Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.

Uurimistöö raames lahendati järgnevad ülesanded:

1. Kaardistati Eesti õhusõidukite tehnohooldussektor ning anti ülevaade ka teiste Euroopa riikide õhusõidukite tehnohoolduse sektorist.
2. Hinnati tehnohooldussektori otsest ja kaudset mõju Eesti majandusele.
3. Hinnati lennuhooldussektori potentsiaali välisriikide parimate praktikate põhjal.
4. Anti soovitused, milliste tegevustega tasub riigil tegeleda ja milliseid võimalusi luua, et saavutada sektori efektiivne areng.

Sisu ja tulemused

Esimeses peatükis kaardistatakse Eesti õhusõidukite tehnohoolduse sektor ning antakse ülevaade teiste Euroopa riikide õhusõidukite tehnohoolduse sektorist. Selle uurimistöö raames on õhusõidukite tehnohoolduse (edasidi MRO) sektori kaardistamisel ja parimate praktikate väljaselgitamisel lisaks Eesti turule käsitletud ka lähiriikide vastavaid sektoreid. Peamiste konkureerivate turgudena vaadeldi järgnevaid Euroopa riike: Soome, Rootsi ja Leedu. Parima praktika väljaselgitamiseks on uuritud ka Euroopa tähtsamaid turge: Saksamaa, Suurbritannia, Iirimaa. Ühtlasi on võetud arvesse Poola ja Bulgaaria turge kui kasvava MRO-sektori näidet.

Turuanalüüs näitas, et Eestil on mõõdukas hinnaeelis võrreldes näiteks Rootsi ja Iirimaaaga. Ühtlasi selgus, et töötunni hinnad võivad ärilennukite tehnohooldusega tegelevatel ettevõtetel olla kuni 60% kõrgemad kui tiheda konkurentsi tingimustel töötavatel ettevõtetel, mis tegelevad Airbus A320 ja Boeing 737 seeria lennukite hooldusega.

Teises peatükis hinnatakse lennuhooldussektori otsest ja kaudset mõju Eesti majandusele. Uuringus kajastatakse mõju, mis tuleneb alljärgnevatest näitajatest: ettevõtete arv, käive, töötajate arv, investeringute maht, ekspordimaht, osakaal sise-majanduse koguproduktist. Majandusharu mõju hinnatakse kolme teguri alusel, milleks on otsesed, kaudsed ja muud tegurid. Tehnohoolduse sektori perspektiivide väljaselgitamisel on kasutatud maailma lennuhooldussektori 2015–2025 aasta prognoosi (Oliver Wyman, 2015). Prognoosi kohaselt toimub aastatel 2015–2025 MRO-sektori kõikide harude stabiilne kasv.

Kolmandas peatükis hinnatakse lennuhooldussektori potentsiaali välisriikide parimate praktikate põhjal. Eesti õhusõidukite tehnohoolduse sektori arenguplaanide ja kitsaskohtade kaardistamiseks korraldati erialased ümarlaua kohtumised ja intervjuud MRO-sektori esindajatega. Väikeste ettevõtete huvi uuringus osalemise vastu oli ebaühtlane. Intervjuude sisendiks olid käesoleva analüüsi uurimisülesanded ning eelnevalt kaardistatud MRO-sektori ettevõtete olukord ja kitsaskohad. Uuringus lähtusid autorid vajadusest kaasata vähemalt ühte esindajat iga MRO turuniši kohta: reisilennukite baashooldust esindas Eesti õhusõidukite tehnohoolduse sektori liider Magnetic MRO AS, ärilennukite hooldust esindas AS Panaviatic Maintenance, väikeste A2-klassi õhusõidukite hooldusega tegelevat sektorit esindas Nordic Aircraft Service OÜ. Arvestati ka Politsei- ja Piirivalveameti lennusalga kui riikliku MRO esindaja arvamusega.

Eesti õhusõidukite tehnohooldussektori hetkeseisu hindamisel kasutati ettevõtete aastaaruandeid. Samuti kasutati prognoose sektori arengu osas ja PRAXIS-e (Poliitikauuringute Keskus) uuringut *Teemapaber majanduse kasvu-potentsiaalid*.

Neljandas peatükis antakse tellijale soovitusi, milliste tegevustega tasub riigil tegeleda ja milliseid võimalusi luua, et saavutada efektiivset sektori arendamist.

Kokkuvõte

Uuringu praktiliseks tulemuseks on terviklik soovitude kogum poliitika-kujundajatele, mis on oluline riigi tasandil lennuhooldussektori arendamiseks.

Uurimistöö tulemusena selgus:

- Õhusõidukite tehnohoolduse puhul on tegemist kasvava, kõrge lisandväärtusega, ekspordile orienteeritud ja teiste valdkondade sünergiat (nt infotehnoloogia) võimaldava valdkonnaga.

- MRO-sektor toetab laiemalt kogu lennundussektori arengut, nii lennuettevõtete kui lennujaamade tegevust, lennukite finantseerimise aktiivsust ning varuosade tootmist ja jaotust. Samas on ülalmainitud valdkondade areng omakorda heaks kasvubaasiks MRO-sektorile.
- Eestis on tagatud tehnohoolduse teenus kitsa kerega lennukitele (nt A320/B737) ning ärilennunduses kasutatavatele Bombardier õhusõidukitele. Vähesemal määral (liinihoolduse tasemel) CRJ ja Embraer, Dash, ATR ja Saab 340, ning A2- ja A3-kategooria õhusõidukitele nagu Cessna, Robinson jt. Katmata on keskmise kaaluga kopterite hooldus. Suurimaks Eesti MRO-sektori ettevõtteks on Magnetic MRO, mis moodustab üle 75% Eesti MRO mahust.

Lennuhooldussektori ettevõtete otsese ja kaudse panuse mõõtmisel Eesti majandusele jõuti järeldusele, et Eesti MRO-sektori maht 2014. aastal oli ligikaudu 22 miljonit eurot, mis on ca 0,93% Ida-Euroopa MRO turumahust, ning panus Eesti SKPse ligikaudu 0,05%. Eesti MRO-sektori ennustatav käive 2024. aastal oleks 33 miljonit eurot, mis on tänu Magnetic MRO viimaste aastate kasvule juba saavutatud. Esimese koostatud stsenaariumi alusel jääb Eesti osakaal Ida-Euroopa MRO-sektoris samaks. Teise, optimistlikuma stsenaariumi alusel võib Eesti MRO-sektori käive 2024. aastaks kasvada 200 miljoni euroni, mis oleks ca 5% Ida-Euroopa mahust ja mille mõju Eesti SKP näitajale oleks kuni 1%.

Arvestades edukamate riikide kogemust, on MRO kasvu peamiseks teguriteks olnud keskendumine rahvusvahelisele konkurentsivõimele, paindlikkus ning võime juhtida kogu väärtusloome ahelat. Analüüsi tulemusena leiti, et sektori kasvu kindlustamiseks on kaks teed: kasvavad ettevõtted arendavad olemasolevaid teenuseid ning tegelevad uute ärisuundade leidmisega, sh võidavad turupositsiooni komponentide, mootorite hoolduse ning varuosade tootmise kaudu. Teiseks teeks on uute ettevõtete meelitamine Eestisse. Konkurentsivõime kasvu juures on oluline ka tihedam koostöö õhusõidukite tootjatega saamaks tunnustatud ja soovitatud MRO-teenuse baasiks.

Uurimistulemusena leiti, et MRO sektori arengupotentsiaali maksimaalseks ärakasutamiseks on vajalikud mitmed meetmed, mis tuleks ette võtta riigi tasemel, ning ka erinevate osapoolte eesmärgistatud ja koordineeritud tegevus. Tähtis on ka MRO sektori koostöö arendamine AS Tallinna lennujaama ja ka Eesti Lennuakadeemia vahel. Töös tuuakse välja võimalikud meetmed probleemide lahendamiseks.

K. Kõõrna, J. Haldre. *Lennuhooldussektori majandusmõju uuring: uurimistöö, juhendaja Allan Nõmmik (MSc), konsultandid Priit Rifk, Priit Tinitis, Kristina Ojamäe. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2016.*

Kasutatud kirjanduse loetelu sisaldab 66 allikat.

SUMMARY

THE STUDY OF ECONOMIC IMPACT OF MRO SECTOR

Keywords: MRO sector, direct and indirect impact on economy

The research is carried out for the Ministry of Economic Affairs and Communications of the Republic of Estonia to chart aviation maintenance, repair and operations market in Estonia and in Europe. The aim of this research is to evaluate the potential and benefits of MRO market to the economy of Estonia.

The study is divided into four chapters. The first part gives an overview of the main MRO enterprises in Estonia and in the Baltic states, as well as of the well developed MRO markets in Europe (Germany, Great Britain and Ireland), and of the rising MRO markets of Poland and Bulgaria.

In the second part of the research the authors evaluate the direct and indirect impact of MRO on Estonia's economy. The following indicators were taken into account to estimate this impact: number of enterprises and employees, turnover, investments and percentage of gross domestic product.

The third part explains the potential of the MRO market on the basis of foreign countries' best practises.

The last part provides recommendations to the Ministry of Economic Affairs and Communications for developing the MRO market, and for achieving an effective increase in the sector by creating opportunities for enterprises.

As a result of this research several proposals were made on how to solve the problems of MRO market and foster the growth of the sector.

ÕHUSÕIDUKI EHITUS JA HOOLDUS

SAATEKS

Järgnevalt on välja toodud kokkuvõtvad artiklid õhusõiduki ehituse ja hoolduse eriala parimatest lõputöödest. Endiselt on populaarne mehitamata õhusõidukite valdkond, mis tänu pidevale arengule pakub üliõpilastele uurimisainest. Samuti tegeleb akadeemia ja osakond erinevate mehitamata lennunduse projektidega, näiteks ASTRA projekt, UAV labori kasutusele võtmine ning testlennud. Õppekava on juba jõudnud sellisele tasemele, et suudab üliõpilastele pakkuda piisavas mahus UAV/RPAS-alast koolitust, kuid arengud selles suunas jätkuvad.

Õhusõiduki ehituse ja hoolduse õppekava lõpetanuid iseloomustab kõrge erialane motivatsioon ja teotahe. Seda näitab asjaolu, et üliõpilased seovad lõputöö koostamise sageli praktikakohaga ning seeläbi leitakse hiljem erialane töökoht. Mitmel juhul on haridusteed jätkatud magistriõppes. Osakond teeb tihedat koostööd lennundusettevõtete ja praktikabaasidega, et tagada üliõpilastele parim võimalik väljaõpe, mis vastab tööturu ootustele.

Ühiskond ja tehnika areneb ning muutustega peab kohanduma nii lennundusvaldkond tervikuna kui ka erialane väljaõpe. Siin on keskne roll inimestel. Kvaliteetne lennundustehniline koolitus on võimalik vaid tänu akadeemia õppejõududele ja valdkonna lennundusspetsialistidele.

Mattias Kosemets

Lennundustehnilise koolituse osakonna koolitusjuht

MOBIILSE TESTSEADME KONSTUREERIMINE UAV AERODÜNAAMILISTE OMADUSTE ANALÜÜSIKS

ALLAR LAUK
Juhendaja Peep Lauk (MSc)

Märksõnad: UAV, aerodünaamika, mobiilne, testseade, testlabor, tiivaprofiil

Mehitamata õhusõidukite (UAV) areng on olnud muljetavaldav. Eriti kiire on elektrimootorite jõul lendavate UAV-de areng. Selle põhjuseks on nende lihtne käsitlemine, madal müratase ning praktiliselt olematu kahjulike ühendite emissioon lennu ajal. Samas on elektri jõul lendavate mehitamata õhusõidukite lennu kestvus ja kaugus oluliselt väiksemad kui sisepeõlemismootoriga õhusõidukitel. UAV-de lennukestvust ja -kaugust saab suurendada parendades UAV-de aerodünaamikat ning sellega lennukestvust, või suurendades akude massi, mis omakorda suurendab ka UAV massi tervikuna. Kuna viimase variandi rakendamisel väheneb UAV kasuliku koorma ???koormuse mass, jääb ainukeseks lahenduseks UAV aerodünaamika parendamine.

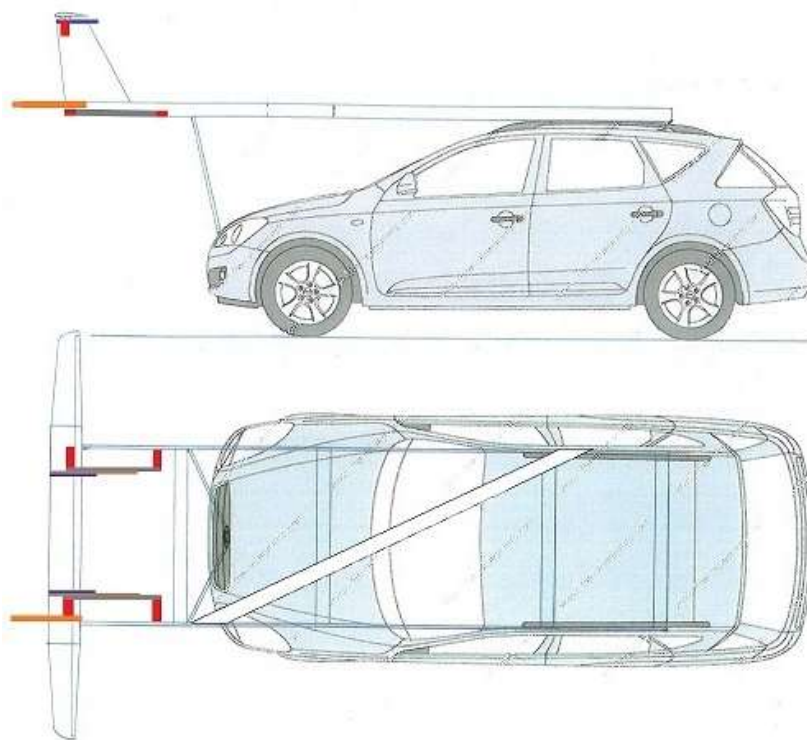
Aerodünaamiliste omaduste parendamise all mõeldakse eelkõige tõstejõu ja takistuse suhte suurendamist. Aerodünaamiliste parameetrite määramine ja parendamine ei ole aktuaalne mitte ainult uutel, väljatöötamise järgus olevatel UAV-del, vaid ka juba laia kasutust leidnud õhusõidukitel.

Lennus esinevate reaalsete olude simuleerimiseks on võimalik kasutada tuuletunnelit, viia läbi lennuteste (mis on väga kulukad), testobjekti testimine arvutusliku vedeliku dünaamika (CFD) tarkvara abil (näiteks ettevõtte Scaled Composites ehitatud õhusõiduk SpaceShipOne oli täielikult testitud kasutades CFD tarkvara) või kasutada aerodünaamiliste testide läbiviimiseks spetsiaalselt ehitatud testseadet.

Mobiilse testseadme loomine on tänapäeval väga aktuaalne, kuna kõiki modernseid õhusõidukid on vaja testida enne reaalsel lendu, et kindlaks määrata nende aerodünaamilised omadused. Kaasaegsed arvutiprogrammid võimaldavad modelleerida piisava täpsusega UAV-de tiibasid, kuid paljud UAV-de kered on keerulise kujuga (kaamerad, antennid, mootorikatted jms), mille tõttu teoreetilised ja praktilised tulemused erinevad olulisel määral. Testimise kulutused konstrueeritud testseadmega on oluliselt väiksemad, kui tuuletunneli kasutamisel. Näiteks *Kirsten Wind Tunnel*'is algavad tunneli kasutamise hinnad 100 \$/h. Käesoleva lõputöö raames valmistatud testseadme omahind on ~500 eurot, kasutamise orienteeruv hind on 20 €/h, mis on ligi 5 korda väiksem kui

tuuletunneli kasutamise tunnihind. Ka CFD tarkvara (näiteks Ansys Fluent) litsents ning kasutamine on väga kallis ja täpsete tulemuste saavutamine on väga keeruline, töömahukas ning vajab kindlat pädevust.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on projekteerida ja ehitada mobiilne testkeskus ehk spetsiaalne testseade, arvutada testseadmele mõjuvad koormused ning testida UAV tiiba valmistatud testseadmega. Töö käigus mõõdetavateks parameetriteks oleksid tõstejõud, kogutakistus ning õhkkiirus. Töös tuuakse välja projekteeritud ja ehitatud testseadme kasutusvõimalused ja erinevad mõõtemetodid aerodünaamiliste parameetrite leidmiseks.



Joonis 1. UAV tiib projekteeritud testseadme küljes



Joonis 2. UAV tiib projekteeritud testseadme küljes

Testplatvorm võimaldab katsetada mehitamata õhusõidukeid kaaluvahemikus 100 g kuni 20 kg tiivaulatuse puhul 0,5 m – 5m. Lisaks on võimalik seadmega katsetada lennukite ja purilennukite tiivaprofiile ning nende modifikatsioone (eestiivad, tagatiivad, spoilerid jne). Eraldi on võimalik katsetada kere- ja sabapindasid ning mõõta õhusõiduki piki püsivusmomenti. Platvormi monteerimine transportasendist tööasendisse võtab aega 5–10 minutit, millele lisandub veel testobjekti kinnitamine. UAV-de testimisel testseadmega kasutatakse elektroonilist meetodit, ehk andmed registreeritakse pieselektriliste kaaluandurite poolt ning töödeldakse arvutiprogrammis. Elektrooniliselt on võimalik tekkivaid jõudusid mõõta ühe grammi täpsusega. Mitme katseseeria tulemusel saab määrata ka kahjulikku takistust, induktiivtakistust ning interferentstakistust.

A. Lauk. *Mobiilse testseadme konstrueerimine UAV aerodünaamiliste omaduste analüüsiks:* lõputöö, juhendaja Peep Lauk (MSC). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2016.

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 22 allikat.

SUMMARY

CONSTRUCTION OF A MOBILE GROUND LABORATORY FOR AERODYNAMICAL TESTING OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Key words: UAV, aerodynamics, mobile, ground laboratory, testing device, airfoil characteristics

The purpose of this graduation thesis is to construct a mobile ground laboratory to test unmanned aerial vehicles (UAVs) and components, mainly wings. The reason for building this is that using wind tunnels for testing aerodynamics is expensive and complicated. The mobile ground laboratory for UAV testing is a good alternative because it costs less to use and it provides a real indication of how a certain UAV or wing performs in the air.

The thesis consists of five chapters. Chapter I gives a general overview of the wind tunnels' history. It also explains why wind tunnels are important and what their purpose is.

Chapter II analyses the article “Ground mobile laboratory for measurement of airfoil aerodynamics characteristics“ by Robert Šosovicka, Martin Kouril and Jan Friedl. The purpose for this is to find out whether this type of mobile ground laboratory gives accurate results or not. Another purpose is to get a general idea of what needs to be done for successful testing.

Chapter III covers the construction of the mobile ground laboratory. This chapter explains which materials are used, how the frame is built and which measuring systems are used.

The last chapter focuses on test results and their analysis.

In conclusion, the goal of the research paper was achieved, and the mobile ground laboratory was built. Various tests have been conducted with it to ensure the durability and build strength. This mobile ground laboratory can be used for various aerodynamical measurements, which determine the characteristics of the UAV or its components.

PURILENNUKI BLANIK L-13 TIIVATALA TUGEVDAMINE

HENDRIK SAARMÄE
Juhendaja Ernst Tungal (PhD)

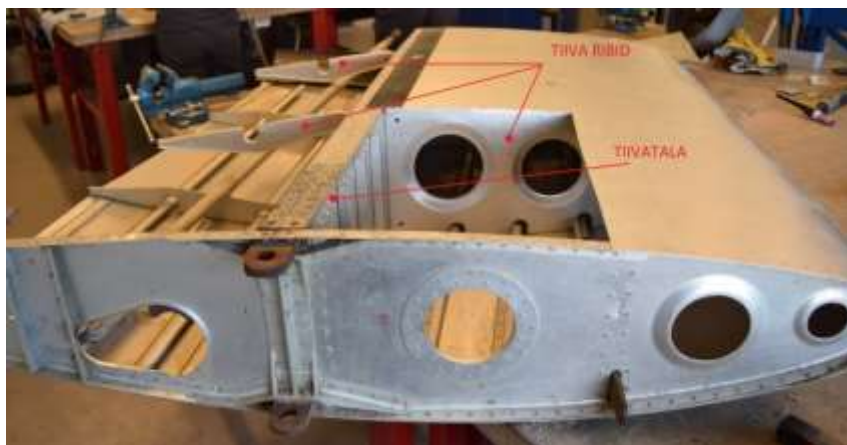
Märksõnad: Blanik, purilennuk, modifikatsioon, lennukõlblikkus

Purilennuk LET L-13 Blanik on juba üle viiekümne aasta täitnud purilennuklubide ja pilootide treenimisvajadusi oma aeroobaatiliste võimetega üle kogu maailma. Oma esimesest lennust alates, aastast 1958, sai Blanik väga populaarseks tänu oma vastupidavale konstruktsioonile, mõistlikule hinnale ja kasutusmugavusele. Lennuki käsitsemine oli väga mugav nii õhus kui ka maa peal. Blanikut hakati ulatuslikult eksportima ning sellest sai üks usaldusväärseim purilennuk paljude riikide erinevates lennuklubides. Oma eluea jooksul püstitas Blanik mitmeid rekordeid kahekohaliste purilennukite seas. Tänapäevaks hoiab Blanik rekordid maailma toodetuima purilennukina (üle 3000), mis on oma disaini saanud peale II maailmasõda.



Joonis 1. Lennuõnnetus Austrias

12. juunil 2010. aastal osales Blanik L-13 Austrias lennuõnnetuses (joonis 1), mis nõudis kaks inimelu. Lennuki tiiva tala ei pidanud õppelennu ajal talle mõjuvatele jõududele vastu, mille tagajärjel murdus tiib lennuki kere küljest lahti ning kontroll õhusõiduki üle kadus. Tiiva murdumise põhjuseks oli tiivatala väsimus. Selle tulemusena väljastas Blaniku tootja Let 18. juunil 2010 avarii kohta ametliku teadaande, mis keelas kõigi Blanik L-13 purilennukite lendamise selle ajani, kuni ei ole läbi viidud täielikku uurimist. Uurimise eesmärgiks oli kontrollida tiivatalade seisukorda ja pardapäeviku sissekandeid purilennuki lendude kohta.



Joonis 2. Blaniku tiib

Ülevaatuse järgselt ei võinud lennuk sooritada enam vigurlende. Võttes arvesse edasisi avastusi, mis juurdluse käigus selgusid, ei saa tiivatala väsimust õnnetuse lõplikuks põhjuseks lugeda. Sellest tingituna on õhusõiduki tüüp lennukõlbmatu kuniks EASA ja FAA uut otsust vastu ei võta.

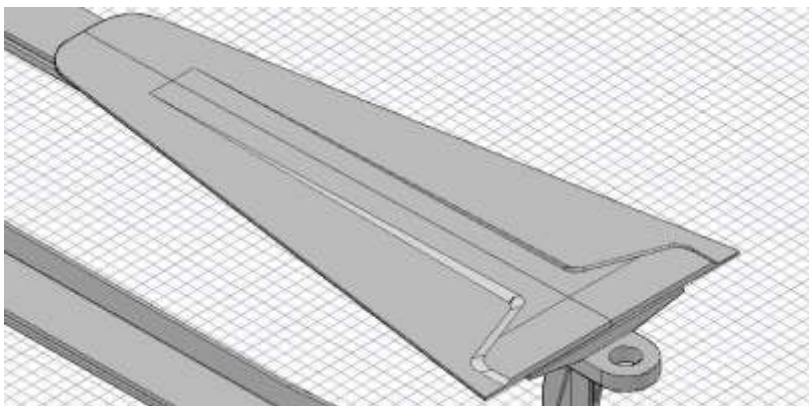
Mis põhjustas õnnetuse? Blanik L-13 tiib kuulub jäiga kattega tiibade gruppi (joonis 2). Kattematerjal võtab osa tiiva tööst paindele ja väände. Tiib kuulub ühetalaliste, ühekontuursete tiibade gruppi. Vertikaalpaine võetakse vastu ainult tala poolt. Horisontaalpainele töötavad tiiva esiosa kattega omavahel sidestatud väändele töötav kontuur(riib) ja tala, mis asub tiiva keskel. Tiiva tüveosas kandub horisontaalpaine üle talale, tekkinud jõud antakse edasi lennuki kerele. Väändele töötab tiiva esiosa kattest ja tala seintest moodustatud kontuur, mis oma suure jäikusega võtab vastu kogu väändemomendi. Tiiva tüves kandub vääne üle tiiva talale. Kuna tiiva tala on sidestatud jäiga kattega, aitab see kaasa väändejõudude

üleandmisele lennuki kerele. Ribid töötavad igaüks eraldi konsoolina, kandes kohalikest aerodünaamilistest jõududest tekkiva painde üle talale.

Kuna Blaniku tiiva konstruktsioon on selline, et tiivale mõjuvad jõud võtab enamjaolt vastu ainult üks tala, siis jõuamegi probleemini, milleks on tiivatala tsüklilisel koormamisel tekkinud väsimus.

Et suurendada tiiva eluiga, tuleb tiivatalale lisada materjali. Autor on valinud tugevduse valmistamiseks vanandatava alumiiniumi sulami AV-2024, kuna 2024 on tsüklilisele koormamisele vastupidavam alumiiniumisulam ning sama materjali on kasutatud tiivatala konstrueerimisel. Kasutades sama materjali, ei pea muretsema, et materjalid käituksid üksteise suhtes erinevalt. Arvutuslikul teel pingeid leides on samade materjalide kasutamisel ka arvutuskäigud lihtsamad.

Modifikatsiooni projekteerimisel on autor kasutanud kolmedimensiooniliseks modelleerimiseks graafikaprogrammi AutoCad, mille abil on joonestatud kaks alumiiniumist tugevdusplaati (joonis 3) ja kiilud. Modifikatsiooni vajavale tiivale paigaldatakse tugevdused mõlemale poole tiivatala, tiiva kattematerjali peale. Tugevduse disainimisel peab tähelepanu pöörama tiiva profiilile, mille muutmisel võivad tiiva aerodünaamilised omadused muutuda. Sel põhjusel otsustas autor teha tugevdused mõlemale poole tiiba, et tugevdusplaadid oleksid võimalikult õhukesed ja tiiva profiil liigselt ei muutuks. Siin tuleb esile autori disainitud tugevduse suurim erinevus võrreldes olemasoleva tugevdusega: olemasoleva tugevduse paksus on tunduvalt suurem, kuna tegemist on ühepoolse tugevdusega.



Joonis 3. Autori poolt modelleeritud tugevdusplaat

Autor viis läbi olemasoleva modifikatsiooni maksumuse analüüsi ning võrdles seda projekteeritud modifikatsioonile tehtud hinnapakumisega. Hindade suurest erinevusest võis järeldada, et Blaniku tiiva tugevdamiseks vajaliku modifikatsiooni kõrge maksumus tuleneb selle keerukast väljatöötamisest. Järeldus – tiivatala tugevduse projekteerimise täpsed arvutuskäigud on võimalik teostada, kui on olemas täpsed lennuki (sh tiiva) andmed. Modifikatsiooni reaalsel valmistamisel oleks vaja läbi viia katsed täismõõtmetes tiivaga, mis annaks ka selgema ülevaate modifikatsiooni hinnast.

H. Saarmäe. *Purilennuki Blanik L-13 tiivatala tugevdamine*: lõputöö, juhendaja Ernst Tungel (PhD). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud kirjanduse loetelu sisaldab 32 allikat.

SUMMARY

BLANIK L-13 GLIDER WING REINFORCEMENT

Keywords: Blanik, glider, modification, airworthiness

The goal of this graduation thesis is to design a modification for the Blanik L-13 wing spar to reinforce the wing against fatigue. This modification will help to prevent the wing spar from cracking.

Although a similar kind of reinforcement has been made, the author's objective is to analyse the possibility of developing a better and cheaper solution to restore Blanik L-13 airworthiness. The cost of the modification is one of the main reasons, why Blanik owners cannot make their planes airworthy.

The graduation thesis is divided into four chapters. The first chapter points out the reasons for Blanik being grounded. It gives an overview of the glider's history, structural problem and the tragic accident in Austria.

The second chapter analyses the problem with Blanik's wing spar. Necessary calculations are made to find the critical point of fatigue failure. The calculations show how the modification prevents such a failure. The design of the modification is made by using 3D modeling software, AutoCAD.

The last chapter is about manufacturing the modification and the overall cost. An overview of maintenance organization requirements, modification installation procedure and the fasteners correct layout is given. Modification cost analysis is made.

The data needed for making the modification was gathered from books and from the internet. The practical part of the work consists of making calculations, designing the modification and of analysing the data.

PIXHAWK AUTOPILOODI ÜHILDAMINE TRANSPONDRIGA

SIIM LUHAORG

Juhendaja Margus Sammelsaar, konsultant Hannes Kirik

Märksõnad: mehitamata õhusõiduk (UAV), droon, transponder, raadioluba

Järjest kasvav mehitamata õhusõidukite hulk Eesti õhuruumis on loonud olukorra, kus maksimaalse ohutuse tagamine on keeruline. Droonidega lendamine on küll reguleeritud, kuid siiski muudaks transpondriga mehitamata õhusõiduki käitamine õhuruumis liiklemise ohutumaks.

Lõputöö eesmärgiks oli ühildada Pixhawk autopiloot ning Sagetech XPG-TR S-režiimi transponder. Lahendusega oleks võimalik muuta üks maailma populaarseim autopiloodiga õhusõiduk radarpildil nähtavaks. Kuna transpondril on ADS-B väljund, siis muudetak mehitamata õhusõiduk nähtavaks ka teistele õhusõidukitele ning maaapealsetele vastuvõtjatele, mis ADS-B signaale vastu võtavad. Testimiseks kasutati drooni (joonis 1), mis oli projekteeritud ning konstrueeritud Eesti Lennuakadeemias.



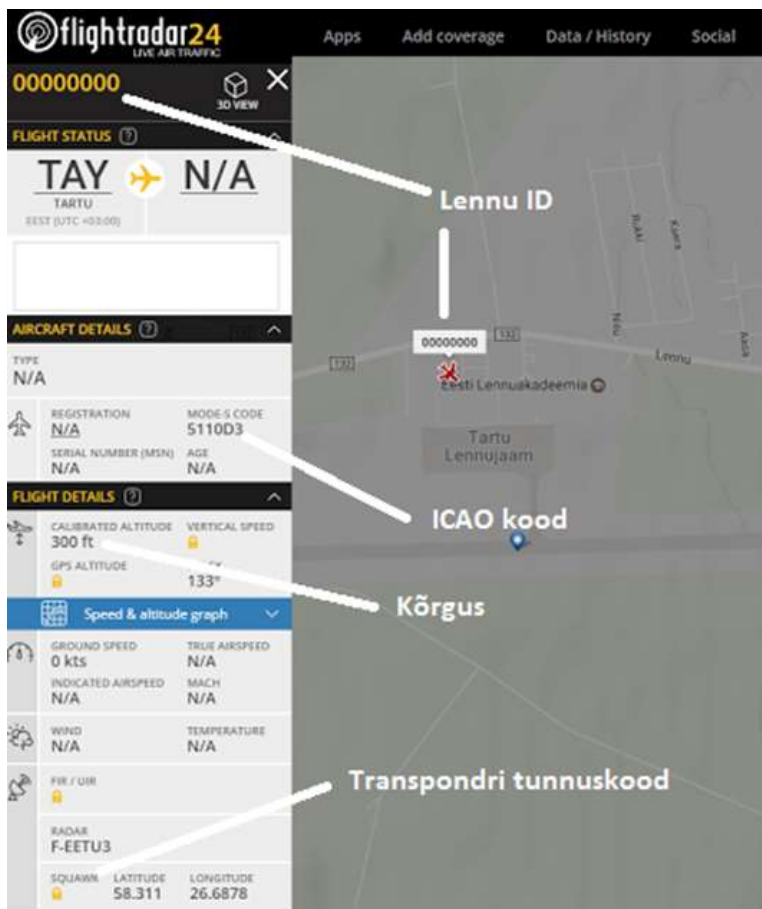
Joonis 1. Eesti Lennuakadeemia transpondriga varustatud DRONE 1

Lõputöö raames taotleti Eesti Lennuametilt mehitamata õhusõiduki käitamiseks ühekordne luba, et sooritada katseid kontrollitavas õhuruumis. Lisaks oli Lennuametilt S-režiimi transpondri tõttu vaja taotleda ICAO 24-numbriline kood ning õhusõiduki tunnus. Õhusõiduki tunnuse saamine osutus probleemiks, kuna mehitamata õhusõidukit ei ole Eestis võimalik registreerida. Eesti Lennuakadeemia droonile väljastati ICAO 24-numbriline kood 5110D3 (kuueteistkümnendsüsteemis) ning kokkuleppeline tunnus DRONE1.

Tehnilise Järelevalve Ametilt taotleti õhusõiduki raadioluba. Eesti Lennuakadeemiale väljastatud raadioluba oli Eestis esimene mehitamata õhusõidukile väljastatud raadioluba. Loal olid kirjas transpondri edastussagedus, telemeetria sagedus ning raadiovastuvõtja sagedus.

Pixhawk autopiloodi ühildamiseks transpondriga kasutati firma SPH Engineering poolt välja arendatud programmi UgCS Enterprise, mis võimaldas läbi Pixhawki telemeetria arvuti abil transpondrit kontrollida. Kuna seadmete suhtlusprotokollid on erinevad, siis oli vaja kahe seadme vahele paigaldada konvertermoodul, mis võimaldas seadmetel omavahel suhelda.

Lõputöö eesmärk saavutati ning autori väljapakutud lahendus töötas. Transpondriga varustatud õhusõidukiga sooritati mitmeid testimisi. Maaapealsete testimiste tulemusena jõuti järeldusele, et süsteem on töökorras ning loodud lahendus edastab andmeid vastuvõtjale. Õhusõiduki ilmumist radariekraanile jälgiti veebilehe www.flightradar.com abil (joonis 2) ning andmete saatmist testseadme Aeroflex IFR 6000 abil. Edukad maaapealsed testimised võimaldasid liikuda edasi katsetusteni õhus.



Joonis 2. Flightradar24 radartarkvara

Õhus testimise käigus sooritati planeeritud kolmest katselennust kaks. Kolmas katselend jäi tuulise ilma tõttu ära. Mõlema katselennu puhul lahendus töötas ning transpondrit oli võimalik programmiga kontrollida. Teise katselennu ajal oldi suhtluses Ämari lennujuhtimisüksuse lennujuhiga ja koostöö tulemusena saadi radarkuva pilt õhusõidukist. (Joonis 3)



Joonis 3. Ämari lennujuhtimisüksuse radarpildi kuva

S. Luhaorg. *Pixhawk autopiloodi ühildamine transpondriga: lõputöö, juhendaja Margus Sammelsaar, konsultant Hannes Kirik. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.*

Kasutatud kirjanduse loetelu sisaldab 25 allikat.

SUMMARY

PIXHAWK AUTOPILOT INTEGRATION WITH TRANSPONDER

Key words: unmanned aerial vehicle (UAV), drone, transponder, radio licence

The purpose of this graduation thesis is primarily to integrate Pixhawk autopilot with Sagetech XPG-TR transponder. The subject is relevant due to the rising amount of unmanned aerial vehicles (UAVs) in airspace. Because of that, it is becoming more and more difficult to ensure maximum safety of aircraft in the airspace. Making UAVs visible to the radar by adding a transponder on the aircraft will make airspace safer. Air traffic controllers can see drones on their radars and instruct manned aircraft to avoid contact with them.

Before flight tests the drone had to have the licences that would allow the UAV equipped with a transponder fly in a controlled airspace. The Estonian Civil Aviation Authority issued ICAO 24 number code 5110D3 and an agreement to use aircraft registration DRONE1. Also, the aircraft radio licence was required, because the transponder uses the frequency that can affect flight safety. After the licencing process the Pixhawk autopilot and Sagetech transponder were integrated and ground tests with working transponder were performed.

All flight tests were successful and the transponder could be controlled via Pixhawk. The end result of flight tests was that the drone became visible on Estonian Air Force air traffic controllers radar screen and sent the parameters it was programmed to send. As the flight tests confirming the hypothesis were successful, the author confirms in conclusion that it is possible to make airspace safer by adding the transponder component on drones.

AIRCRAFT TEARDOWN AREA PLANNING FOR MAGNETIC MRO IN TALLINN AIRPORT

KARL TERRENCE TOOME

Supervisor Vaidas Vinslovas, consultant Peeter Pajula

Keywords: aircraft teardown, recycling, components

According to Aircraft Fleet Recycling Association's (AFRA) estimation, about 12 000 aircraft will be retired in the next two decades, thus aircraft recycling offers a wide range of business opportunities to companies. Also, asset owners are looking for efficient and environmentally friendly solutions to dispose of the retired aircraft.

Magnetic MRO (MMRO) has also started to develop a branch for aircraft teardowns. Currently, MMRO is headquartered in Tallinn with its base and line maintenance hangars. In 2017, the construction of a painting hangar began. MMRO offers total technical care solutions to its partners, providing base and line maintenance, aircraft painting, component overhaul and trading, engineering services and engine solutions. The aim of the total technical care solution is to provide everything necessary for the clients in the same location, thus saving their valuable time and money.

In order to develop the process of aircraft teardown and make it more time efficient, a designated demolition area is needed.

The purpose of this graduation thesis is to find the best solution to a teardown facility development for MMRO, taking into account the location, dimensions of specific aircraft, compliance with international best practices and European Aviation Safety Agency (EASA) regulations. In addition, it is crucially important that the solutions found would be acceptable to Tallinn Airport, on the territory of whom the teardown facility would be built.

Every aircraft has a lifespan starting from its completion date till the day it is retired from service. There is no general rule of thumb when the aircraft retires, because it depends on many different factors, such as flight and pressurization/depressurization cycles, proper maintenance, and whether there have been incidents with the aircraft.

After the aircraft are retired, there are different options for the owner. Some are bought and used by law-enforcement agencies for training purposes, museums

also acquire some of the retired aircraft to serve as exhibits. In addition, there are aircraft used for producing television shows. However, these end-of-life services only pertain to a few aircraft being retired in the whole world. Most of the aircraft find their place in aircraft graveyards, where they are cocooned, till a buyer is found for spare parts. Dry areas, such as deserts are a perfect place to store them to avoid corrosion. However, there are no deserts in Europe, thus it is necessary to tear down an aircraft before it is affected too much by the humid environment and thereupon losing its value.

The purpose of effective aircraft recycling is to maximize the value of recovered materials and reuse the components in active aircraft.

The first teardown in Tallinn was of a Boeing 737 shown in Figure 1. It was torn down on an unpaved area and cut in half with the excavator scissors. There was a lot of metal particles, oil and kerosene which posed a threat to environment and surrounding aircraft.



Figure 1. Loose metal particles from B737 teardown

However, an Airbus A321 teardown was queued. So, the next teardown process had to be carried out with more sense of responsibility. The teardown took place on a parking stand. This time a wire cutter was used to cut the fuselage, wings and other parts. It turned out to be more efficient and there were minimal metal

particles left after cutting. For future teardowns a specific area must be built. The most important factors to be considered are the following:

1. environmental concerns;
2. the area to be outside of danger zones;
3. extremely durable pavement;
4. possibility to use cranes;
5. drainage system with an accessible collector;
6. out of passengers' sight;
7. detailed business plan.

The planned teardown area should comply with AFRA BMP 3.2 Part 1, Article 3; Part 2, Article 3 and European Commission Regulation No 1321/2014 Annex II (Part-145) and specifically its subparts 145.A.25 Facility requirements, 145.A.40 Equipment, tools and material, 145.A.42 Acceptance of components, 145.A.45 Maintenance data and 145.A.50 Certification of maintenance.

2D plan of the teardown area, depicted in Figure 2, was created that follows the guidelines and regulations before mentioned.

K. T. Toome. *Aircraft teardown area planning for Magnetic MRO in Tallinn Airport*: lõputöö, juhendaja Vaidas Vinslovas, konsultant Peeter Pajula. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud kirjanduse loetelu sisaldab 41 allikat.

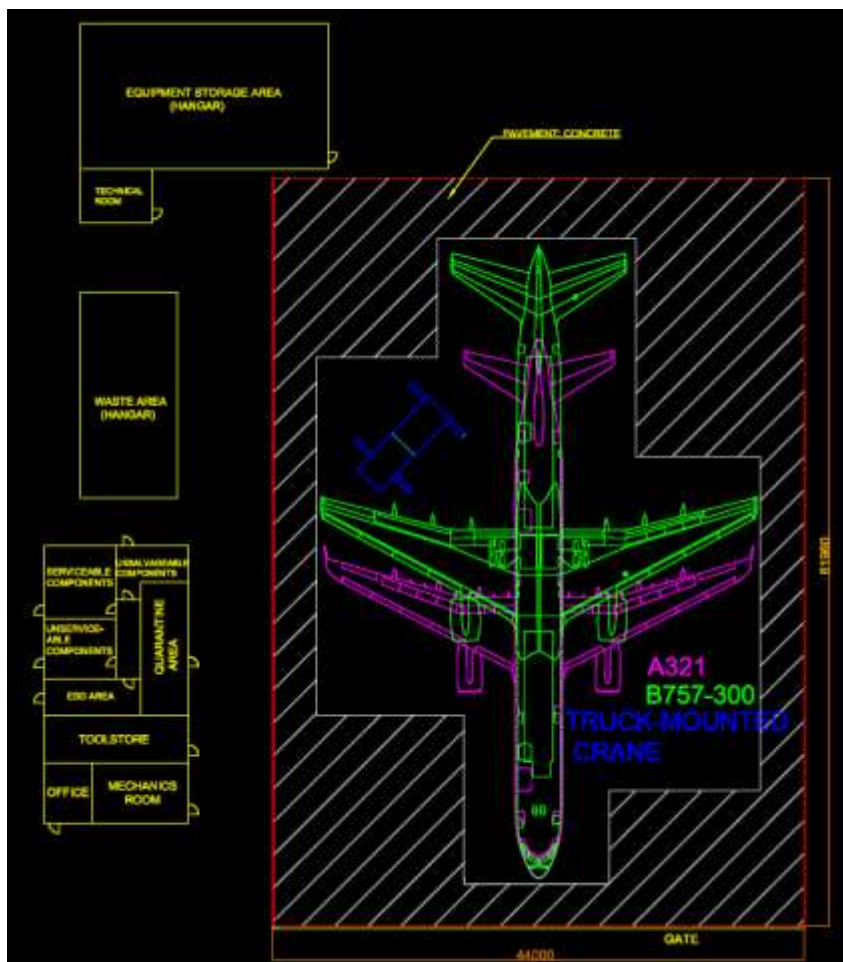


Figure 2. 2D plan of aircraft teardown area with necessary support buildings

KOKKUVÕTE

ÕHUSÕIDUKI LAMMUTUSPLATS AS MAGNETIC MRO-LE TALLINNA LENNUJAAMA TERRITOORIUMIL

Märksõnad: õhusõidukite lammutamine, taaskäitlus, komponendid

Tuginedes Rahvusvahelise Õhusõidukite Taaskäitlemise Ühenduse prognoosile lõpeb järgmise 20 aasta jooksul orienteeruvalt 12 000 õhusõiduki ressurs, mis tähendab, et õhusõidukite lammutamise näol on tegemist potentsiaalselt kasvava ärisektoriga lennundusmaailmas. Ka õhusõidukite omanikud peavad arvestama ressursi lõppedes, kuidas loodussäästlikult ja võimalikult kuluefektiivselt vananenud tehnikast lahti saada.

Selles sektoris soovib oma turuosa kasvatada ka Magnetic MRO AS, kellel on Tallinnas peakontor ning liini- ja baashoolduse angaar, alustatud on ka värvimisangaari ehitustöödega. Magnetic MRO tegeleb lennukite liini- ja baashoolduse, värvimise, komponentide kapitaalremondi ja vahendamisega. Magnetic MRO eesmärk on pakkuda kliendile kõik-ühes teenust ehk lennukile vajalikud protseduurid saaksid tehtud ühes kohas – nii säästab klient tühjade lendude pealt märgatava summa.

Suurendamaks õhusõidukite komponentide kapitaalremondi ja vahendamise osatähtsust ning varuosade ladu, oleks lammutusplatsi omamine üks samm käibe ja kasumi suurendamiseks. Selle abil oleks võimalik saada ka uusi kliente, sest Baltikumis õhusõidukite lammutusplats puudub.

Lõputöö käigus selgitati välja võimalikud alad Tallinna lennujaama territooriumil, kuhu oleks võimalik õhusõidukite lammutusplats rajada. Lennuki lammutusplatsi jaoks loodi kahemõõtmeline plaan kasutades AutoCad 2016 joonestustarkvara. Lammutusplatsi plaan koostati arvestades Euroopa Komisjoni määrust 1321/2014 ja Rahvusvahelise Õhusõidukite Taaskäitlemise Assotsiatsiooni nõudeid. Planeeritud alal oleks võimalik lammutada Airbus A321, Boeing 757-300 ning teisi sarnast tüüpi lennukeid.

TURBOMECA ARTOUSTE IIIB JUHTSEADME JA ÕPPESTENDI KONSTRUEERIMINE

TÕIVO NEREP

Juhendaja Tambet Viljalo, konsultant Madis Parv

Märksõnad: gaasiturbiinmootor, Turbomeca Artouste IIIB, õppestend, juhtseade

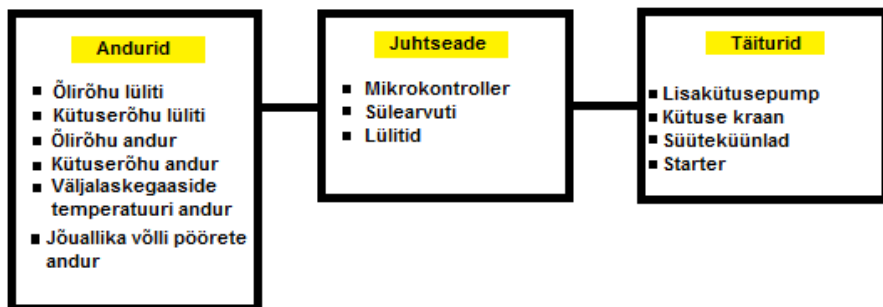
Lennundusvaldkonna kiire arengu tõttu on tekkinud suur nõudlus lennutehniliste spetsialistide järele. Selleks, et Eestis hoida tehnilise koolituse taset kõrgel, on vajalik parendada koolitustingimusi. Suur nõudlus elektroonikaseadmete järele on elektroonikatööstuses kasvatanud konkurentsi ning viinud tootmise uuele tasemele. Seetõttu on võimalik konstrueerida seadmeid, mis on odavad, kerged ja samas ka kvaliteetsed.

Käesoleva töö eesmärk oli konstrueerida juhtseade ja õppestend jõuallikale Turbomeca Artouste IIIB (joonis 1), mis võimaldaks Eesti Lennuakadeemia lennutehnilise personali koolitusosakonnal pakkuda üliõpilastele praktilist gaasiturbiinmootori käitamise kogemust ning õpetada jõuallika käivitusprotseduure. Juhtseade võimaldabki käivitada eelmainitud jõuallikat. Õppestendiga on võimalik mikrokontrolleri abil koostada andurite poolt edastatud informatsiooni põhjal jõuallika tööd iseloomustavaid graafikuid.



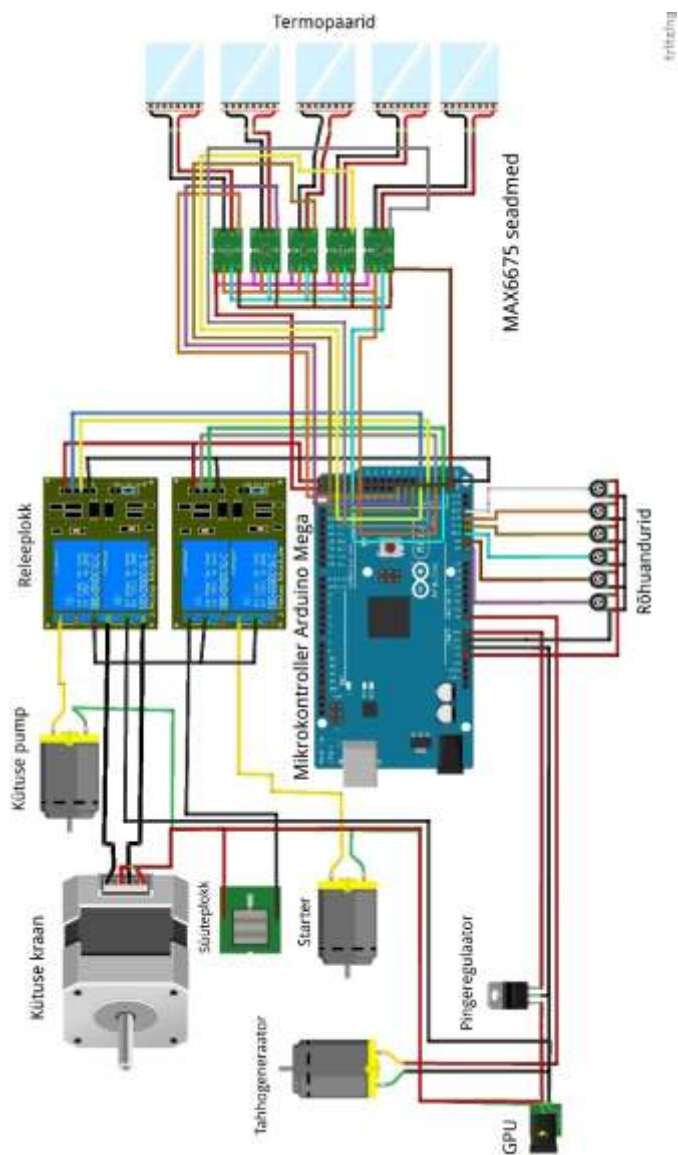
Joonis 1. Jõuallikas Turbomeca Artouste IIIB

Lõputöö raames konstrueeriti juhtseade, milleks kasutati erinevaid komponente nagu kütusepumbad, õlipumbad, elektrooniline kütusekraan, solenoidklapp, releeplokk, süüteagregaat, käivitusrelee, starter, õlirõhu andur, õlirõhu lüliti, kütuserõhu lüliti, temperatuuriandurid ja Arduino Mega 2560 mikrokontroller (joonis 2). Juhtseade kuvab arvutisse õlirõhu, kütuserõhu, väljalaskegaaside ja jõuallika võlli pöörete andmed.



Joonis 2. Juhtseadme plokk skeem. (Autori koostatud)

Autor konstrueeris lisaks õppestendi, mille raamistikus lisas jõuallika igasse sektsiooni andurid temperatuuri ja gaasivoo rõhu signaali edastamiseks. Õppestendi andurite edastatud signaalid on programmeeritud juhtseadme tarkvarasse. Õppestend kuvab jõuallika käivitamise ajal välisõhu, kompressori, põlemiskambri ja turbiinide gaasivoo rõhu ning temperatuuri parameetreid. Nendest andmetest koostatud graafikud on võrreldavad õppeaine Gaasiturbiinmootorid raames kasutatavate graafikutega. Joonisel 3 on välja toodud autori koostatud juhtseadme ja õppestendi elektriskeem.



Joonis 3. Juhtseadme ja õppestendi elektriskeem. (Autori koostatud)

Andmed muudab kasutajale arusaadavaks autori konstrueeritud juhtseadme ja õppestendi kasutajaliides, milleks on sülearvutisse installeeritud tarkvara. Seadme tarkvara on autori poolt koostatud ning koosneb kahest osast. Osa, mis on salvestatud mikrokontrollerile, juhib jõuallika seadmete tööd, võtab vastu andurite edastatud signaalid ning edastab tagasiside USB siini. Teine osa on salvestatud juhtarvutisse, mis võtab USB siinist vastu informatsiooni ning töötleb selle kasutajale arusaadavaks avakuvaks. Mõlemad osad on autori koostatud kasutades Arduino ja Microsoft Visual Studio programmeerimiskeskondasid.

Koostatud on kasutusjuhend jõuallika edaspidiseks ohutuks käitamiseks. Kasutusjuhend sisaldab jõuallika käivitamisele eelnevat kontrollnimekirja, seadmete paigutamise joonist ning käivitusprotseduuri. Nimekiri on koostatud üldiseid ohutusnõudeid ja jõuallika eripära arvestades.

Autori konstrueeritud juhtseade ja õppestend läbis mitmed edukad katsed, mille käigus selgus, et kasutatud komponendid toimivad ning on piisava töökindlusega, et tagada jõuallika ohutu käivitamine.

T. Nerep. *Jõuallika Turbomeca Artouste IIIB juhtseadme ja õppestendi konstrueerimine: lõputöö, juhendaja Tambet Viljalo, konsultant Madis Parv. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2016*

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 25 allikat

SUMMARY

CONSTRUCTION OF CONTROL UNIT AND STUDY BENCH FOR GAS TURBINE ENGINE TURBOMECA ARTOUSTE IIIB

Keywords: gas turbine engine, Turbomeca Artouste IIIB, study bench, control unit

The aim of this graduation thesis was to design and construct a working control unit for Turbomeca Artouste IIIB, as well as to study the overall construction of gas turbine engines. Previously gained knowledge was used to construct the control unit and a study bench for the previously mentioned engine start up bench. Artouste IIIB is a gas turbine engine produced by France power plant manufacturer Turbomeca.

First of all, the engine was taken apart to construct the sensors needed for the study bench. During this process the author of the research paper inspected engine components and added temperature and gas pressure sensors for every section of the power plant. Then the engine was reassembled and the control unit was fabricated. The control unit consists of hardware and software. For hardware, an oil pressure sensor, fuel pressure switch, starter-generator, ignition coil, fuel cock, fuel pump and an extra fuel pump for starting the fuel nozzles are used. There are also temperature sensors and gas stream pressure sensors added by the author of the research paper.

All the required software was developed by the author. It consists of two parts of software: one, which is saved on microcontroller Arduino and the other, which is saved on the computer. The software on Arduino is used to get signals from sensors and to transfer signal to different auxiliary equipment. The second part, on the computer, communicates with Arduino software and gives feedback to the user. The two parts of the software communicate with each other via USB port.

This graduation paper also discusses the relevant safety requirements and describes the starting process. The prototype created is ready to safely start up and run the engine.

JÕUALLIKA CJ610 TÕSTMISRAKISE JA ALUSE PROJEKTEERIMINE

NIKITA JAKOVLEV

Juhendaja Karl-Erik Seegel (MSc)

Märksõnad: õhusõiduki ehitus ja hooldus, ANSYS, tugevusanalüüs, konstrueerimine, Learjet 25B, jõuallikas GE CJ610

Õhusõiduki ehituse ja hooldus eriala õppekava läbimisel saavad üliõpilased teoreetilisi teadmisi õhusõiduki ehitusest ja selle pardal olevatest süsteemidest. Samuti omandatakse praktilisi oskusi õhusõiduki hooldamisel asjatundjate juhendamisel, mis võimaldab paremini mõista erinevate süsteemide ja komponentide tööd. Nimetatud erialal läbitav õhusõiduki hoolduse baaskoolitus on jagatud kümneks mooduliks, millest kõige mahukam on eriala baasõppemoodul (64 EAP). Baasõppemooduli praktiliste ainete raames saavad üliõpilased rakendada omandatud teadmisi ja oskusi läbiviidavate hooldustööde käigus. Peab mainima, et iga aastaga suureneb võimalike teostatavate praktiliste ülesannete hulk Eesti Lennuakadeemia õppeangaaris.

Erialapraktika III ainekavas on välja toodud järgmine eesmärk: Tutvustada õhusõiduki konstruktsiooni, süsteemide ning mootorite montaaži/demontaaži, defekteerimise ja remondi põhiprintsiipe. Püstitatud eesmärki ei ole olnud senini võimalik täielikult ellu viia, kuna Eesti Lennuakadeemia õppeangaaris puudub vastav varustus õppelennuki jõuallikate montaaži ja demontaaži protseduuride teostamiseks. Seega oli käesoleva lõputöö ülesandeks projekteerida õppelennuki Learjet 25B mootorite tõstmisrakis ja alus demonteeritud mootori käitlemiseks.



Joonis 2. Eesti Lennuakadeemia Learjet 25

Projekteerimise lähteks sai võetud läbiviidud turuanalüüs ja õppelennuki pealt võetud vajalikud mõõtmed. Turuanalüüsist selgus, et kõige lihtsam ja enamkasutatud tõstmisrakise tüüp raskuste tõstmiseks ja ümberpaigutamiseks hooldusangaarides on nn sildkraana. Kahjuks ei ole selle paigaldamine ELA õppeangaari võimalik. Seega otsustati liigutatava konsoolkraana kasuks (joonis 2). Raskuste tõstmiseks kasutatakse telfrit ehk elektritali. Tõstmisrakis on hõlpsalt opereeritav ja ohutu. Telfri jaoks projekteeriti kuullaagritel kelk, mis tagab selle liikumise horisontaalselt piki kraana noolt. Sellise varustusega muutuvad mootorite demontaaži ja montaaži protseduurid ohutumaks ja lihtsamaks. Jõuallikate positsiooni peenseadistamiseks paigaldamisel ei ole vaja liigutada tervet kraanat, mis väldib ebasobivaid kõikumisi ja järske liigutusi.



Joonis 3. Projekteeritud tõstmisrakis

Mootori alust kasutatakse maha võetud mootori säilitamiseks ning hooldustööde teostamiseks. Autori projekteeritud alus (joonis 3) vastab jõuallika CJ610 mõõtudele ja kopeerib lennuki peal olevaid mootori kinnituskohti, vältides ebasobivaid pingeid ja koormusi, mis võivad tekkida, kui jõuallikas on kinnitatud kasutades valesid viise.

Kuna mootori alust hakatakse enamasti kasutama hooldustööde teostamiseks ja komponentide vahetamiseks, siis mootori kinnituspunktid asetsevad 1,2 m kõrgusel maapinnast, mis jätab mootori ümber piisavalt vaba ruumi kõikide ettenähtud hooldusprotseduuride läbiviimiseks. Samuti on alus varustatud eemaldatava õlivanniga, mis kaitseb angaari põrandat erinevate määrdeainete ja kemikaalide eest.



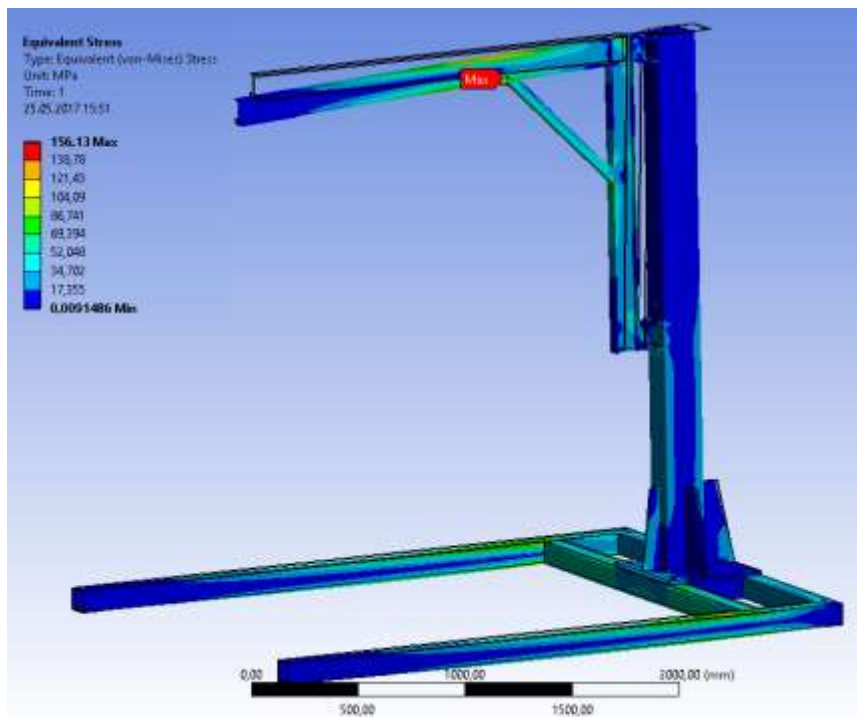
Joonis 4. Projekteeritud mootori alus

Konstruksioonide tugevuskontroll teostati ANSYS-tarkvarapaketiga. Projekteeritud esemete materjaliks valiti konstruksiooniteras S355, mille voolavuspiir on 355 MPa. Analüüsi käigus leiti tõstmisrakise ja mootori aluse konstruksioonide koormamisel neis tekkivad pingeid. Konstruksioonid olid jagatud 3D-elementideks. Detailide ühendamiseks mudelis kasutati seotud kontakti (*Bonded Contact*). Kuna mõlemad konstruksioonid on staatilised, siis teostati staatiline koormuskatse maksimaalselt lubatud koormusega.

Koormuseks võeti 4900 N, mis vastab kahekordsele mootori massi, telfri ja mootori lingi massile. Simulatsioonide käigus selgus, et konstruksioonid on võimelised piisava varuga kandma jõuallika CJ610 raskust ning koormamisel jäävad nendes tekkivad pinged alla kasutatud materjali voolavuspiiri.

Töö majandusliku analüüsi osas selgus, et projekteeritud rakiste valmistamiseks vajalike materjalide ja komponentide kogumaksumus on kordades väiksem võrreldes turul pakutavate analoogsete tõsteseadmete hindadega. Seega on komponentide hankimine ja konstruksioonide valmistamine ise palju otstarbekam ja kasulikum. Kuna tõstmisrakise ja aluse konstruksioonid ei ole oma ehituselt keerulised, siis võiks autori hinnangul koostada need õppeainete

Erialpraktika I ja Erialpraktika II raames kasutades ELA õppeangaari varustust ja seadmeid.



Joonis 5. Tõstmisrakise konstruktsioonis koormamisel tekkiv pinge

N. Jakovlev. *Jõuallika CJ610 tõstmisrakise ja aluse projekteerimine*: lõputöö, juhendaja Karl-Erik Seegel (MSc). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2017.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 36 allikat.

SUMMARY

THE DESIGN OF CRANE AND ENGINE STAND FOR CJ610 POWERPLANT

Keywords: aircraft construction and maintenance, ANSYS, strength analysis, construction, Learjet 25B, powerplant GE CJ610

The main aim of this graduation thesis was to design a crane and an engine stand for Learjet 25B engine removal and installation procedures. It will be used as an educational tool for teaching the students of the speciality of Aircraft Engineering.

The construction of both the crane and the engine stand were chosen by analysing those of the crane and the stand that have been commercially produced for sale. Based on the analysis mentioned, it was decided to design a movable jib crane, which uses electrical wire rope hoist to lift weights. This type of construction makes the engine removal procedure safer and simpler. The design of the engine stand is assigned, based on the dimension of CJ610 engine and its attachment points. The strength of both of the constructions was proven by simulations in ANSYS programme.

The total cost of both the crane and the stand construction is almost ten times lower than that of ready-made jigs offered on the market.

ÕPPEJÕUDUDEL

JUHTIMISE VÕLU JA VALU LÄBI OTSUSTAMISE PARADIGMA

JÜRI KRUSEALLE (PhD), ELA lennundustegevuse korralduse osakonna dotsent

PRIIT PAJUSTE (MSc), ELA lennundustegevuse korralduse osakonna juhataja

Märksõnad: juhtimine, otsustamine

Juhtimine kui valdkond on vastuoluline, mitmetahuline, probleemiderohke ja tihti ka määratlematu, mistõttu üksteise mitterõõmustamine, arusaamatused ja vastuolud on selles valdkonnas igapäevased.

Kõik juhtimisteooriad on oma olemuselt keeruka reaalsuse puudulikud ja lihtsustavad seletused. Sobiva teooria leidmine eeldab, et me mõistame konkreetse ettevõtte struktuuri ja toimimise eripära. Juhtimine tähendab sisuliselt erinevate otsuste langetamist saavutamaks ettevõtte eesmärgi. Seega sõltub vastuvõetud otsuste kvaliteedist suurel määral kogu saadav tulemus.

Kuid otsuseid ei langeta mitte ainult juhid. Igal täiskasvanud inimesel tuleb vastu võtta otsuseid. Tavaliselt me omandame selle oskuse kogemuste kaudu. Igapäevaselt võtab inimene vastu sadu otsuseid, oma elua jooksul miljoneid. Otsus on valik olemasolevatest alternatiividest. Otsuste diapason on lai: menüü valikust lõuna- või õhtusöögiks kuni elukutse või elukaaslase valikuni. Vahel on alternatiivsete variantide arv väga suur (menüüs võib olla üle neljakümne roa ja ülikoolides pakutavate erinevate õppekavade arvu võib mõõta sadadega), kuid suurem osa rutiinseid igapäevaseid otsuseid võetakse vastu kõiki lahendusvariante läbi analüüsimata. Kui vaatame näiteks inimesele eluliselt tähtsaid otsuseid, näiteks töökoha ja elukoha leidmine peale kõrgkooli lõpetamist, siis võib selleks kuluda nädalaid, kuid ja isegi aastaid.

Otsustamine kui üks olulisemaid juhtimistegevusi võib olla individuaalne või kollektiivne. Mõlema variandi puhul kaasneb tehtud otsusega ka vastutus, mida juhid ei tohiks eirata või lükata kellegi teise kanda. Ülo Vooglaid on kirjutanud inimeste otsustamise ja vastutuse kohta: “Inimesel on VASTUTUS. Vastutus on meie käsituses kõlbeline positsioon, mis toimib (või ei toimi) igal eluhetkel oma (ja teiste) tegevuse või tegematajätmise võimalike ja tegelike tulemuste ja tagajärgede eest. Vastutus kujuneb realselt toimivaks eluteguriks, kui on selgeks mõeldud ja sisemiselt omaks võetud, mille eest, kelle ees, kus, kuidas ja millal tuleb oma tegevuse (ka tegevusetuse) eest aru anda.

Inimesel peaks olema VASTUTUSTUNNE. Vastutustunne kujuneb läbi otsustamise. ("Kes otsustab, see vastutab!") Järelikult on vaja teada, millest sõltub vastutusvõime kujunemine ja kuidas saavutada, et inimesed oleksid (saaksid olla) otsustamises osalemiseks küllalt haritud, informeeritud ja kogenud, et ette näha ja ära tunda võimalike otsuste (alternatiivsete lahenduste) võimalikke tulemusi ja tagajärgi, mis, nagu teada, ilmnevad kas kohe või hiljem, avalikult või varjatult, lokaalselt või globaalselt.

Läbi aegade on otsustamise protsessi põhjalikult uuritud. Otsustamise uurimisel on kaks põhivoolu:

- 1) otsustamine (*judgement*) kui protsess, ja
- 2) otsuse vastuvõtmine (*decision-making*).

Esimese puhul on põhiprobleemiks mõtlemisprotsessid, mille abil tehakse järeldusi toimumata ja ebaselgete sündmuste ning tulemuste kohta. Otsuse vastuvõtmise uurijad keskenduvad aga küsimusele, mil viisil tehakse valikuid tegevuste või lahenduste vahel, et tulla toime ebakindlas ja muutlikus keskkonnas.

Kaasaegsed juhtimisteooriad rõhutavad otsuste tegemisel piisava faktilise informatsiooni olemasolu tähtsust. Suur osa on aga kindlasti ka intuiitiivsel otsustamisel. Intuitsiooni kujunemisel on tähtis osa bioloogilistel eeldustel, kuid võimet tunnetada olulisi seoseid ja suhteid võib inimene ka ise arendada. Selles aitavad kaasa probleemide arutelud väga erinevatel seisukohtadel olevate inimestega, elav kujutlusvõime ja loov mõtlemine. Täna on juhtide käsutuses erinevad töövahendid suure hulga andmete haldamiseks. Arvestades neljanda tööstusrevolutsiooniga kaasnevat suurt digitaliseerimise lainet ei ole võimalik ilma tehniliste abivahenditeta mõistlikult tegutseda. Tehnoloogia areng on toonud kaasa olukorra, kus tööstuses toimetavad mõtlevad masinad, mis, olles importinud öö jooksul miljoneid ühikuid infot, pakuvad hommikuks juhile välja võimalikud lahendusvariandid otsuste tegemiseks. Juhil jääb üle vaid valida, milline lahendus oleks sobivaim. Nii saab säästa juhi aega ja raha, mis kuluks täiendavale tööjõule. Alati tuleb aga jälgida, kui suur on loodud süsteemist saadav tulu ja kui suured on tehtud investeeringud.

Informatsiooni olemasolust lähtudes **saab otsustusprotsessi enamasti vaadelda nelja sammuna:**

- 1) valikute kaardistamine,

- 2) võimaluste analüüs,
- 3) valiku tegemine,
- 4) valikust lähtuv tegutsemine.

Igas etapis seisab aga otsustaja ees üks võimalik komistuskivi:

1. Kitsas vaateväli ei lase kõiki võimalusi näha.
2. Kui otsida kinnitust ainult enda meelisvariandile, siis kogutakse vaid endale sobivat infot ja ei pöörata negatiivsetele aspektidele piisavalt tähelepanu.
3. Valikuga kaasnev lühiajaline emotsioon meelitab sageli valet valikut tegema.
4. Tegutsedes vastavalt oma valikule ollakse tuleviku suhtes liiga enesekindlad arvestamata muutuvaid olusid ja vajadust tegevusi korrigeerida.

Kuidas neid komistuskive vältida.

Kitsa vaatevälja puhul võiks läbi teha **kaduvate valikute testi**, mis põhineb olemasolevate valikute elimineerimisel. Seniste valikute kadumisel oleme sunnitud muutma vaatenurka, et leida uusi võimalikke lahendusi, mis võivad olla paremad kui need, mis tundusid algselt ainuõiged.

Silicon Valley edukad ettevõtted kasutavad strateegiat, kus nad tegutsevad mitme projektiga paralleelselt, mis vähendab oluliselt jäikade seisukohtade võtmist ning motiveerib rohkemate lahendustega arvestamist.

Hea võte on ka „**vaade helikopterilt**“, kus piltlikult võttes tõustakse probleemi kohal nii kõrgele, et avaneb laiem vaade. See võimaldab probleemi vaadelda süsteemsemalt koosmõjus suurema hulga teguritega.

Valikute tegemisel on oluline iga valiku puhul välja tuua, millised tingimused peavad olema täidetud, et antud valik oleks saavutatav.

Parima info kogumiseks peaksime vaatama uuritavat probleemi nii lähemalt kui kaugemalt. Otsus, mis võib meeldida ettevõttest väljapool, võib tuua kaasa suuri probleeme ettevõtte siseselt ja vastupidi. Kui me valikuid hindame, kipume tavaliselt võtma **sisevaate positsiooni**. Kui juhile tundub mingi tema enda otsus ainuõige, siis ta lähtub ainult oma sisemisest vaatest ja eirab teadlikult teisi võimalusi.

Juhid teevad sageli halbu majandusotsuseid, sest nad kardavad eksida. Ettevõtte sisemise kursimuutuse korral tunnevad nii juhid kui töötajad sageli, et uuega kaasa minnes võivad nad kaotada selle, mis neil praegu on. Sellega kaasneb negatiivne emotsioon, mida kardetakse.

Otsustamise puhul on oluline **ajaline vaade**. 21. sajandil on muutused tehnikas ja tehnoloogiates eriti kiired. Kui eelmisel sajandil loeti strateegilisteks eesmärgid, mis ületasid viit aastat, siis tänaseks on need nihkunud kolmele aastale, mõningates valdkondades isegi veelgi lühemale perioodile. Selles situatsioonis on oluline jälgida, et ettevõtte juhtkond teatud situatsioonides ei tegutseks automaatselt – põhimõttel „oleme ju selles situatsioonis kogu aeg niimoodi käitunud“. Selles valguses võiks vaadelda ka iga-aastast arenguestlust. Vahel on arenguestluse kohta öeldud, et töötajale antakse ainult üks kord aastas tagasisidet. Kui poleks paika pandud vilkuvat ohutuld, s.o arenguestluse läbiviimise viimast tähtaega, siis arenguestlust ei toimukski. Samas võime öelda, et tavaelus annavad juhid alluvatele tagasisidet ka igapäevaselt. Küsimus on pigem selles, kas seda kõike alati dokumenteeritakse, ja kui seda tehakse, siis mida selle alusel ette võetakse. Kui saadud informatsioon võetakse ainult teadmiseks, siis ei ole see kindlasti ratsionaalne lähenemine.

Läbi aegade on välja töötatud kümneid ratsionaalse otsustamise teooriaid. Seoses ELA-ga võiks tähelepanu pöörata teenimatult kõrvale jäetud Boydi OODA-tsüklile, mis võiks parandada meie otsuste vastuvõtmise oskusi. John Boyd oli USA õhujõudude kolonel, kes lõi OODA-mudeli õhulahingus otsustamise instrumendiks. Mudel leidis kiiresti kasutamist ka muude elualade juhtide seas.

OODA-mudeli etapid oleksid:

- 1) vaatlus (**O**bservation),
- 2) orienteerumine (**O**rientation),
- 3) otsus (**D**ecision),
- 4) tegevus (**A**ction).

Vaatluse faasis tuleks hankida värskemaid andmeid võimalikult paljudest allikatest. Tuleks meeles pidada, et kõik otsused rajanevad ebatäielikul infol.

Orienteerumise faasis on vaja selgitada, mida andmed tähendavad. Toimuva mõistmiseks tuleks kasutada nii analüüsi kui ka intuitsiooni.

Otsuse faasis tuleks otsustada, mida on vaja teha parimale tulemusele jõudmiseks.

Tegevuse faasis on põhisõnum: Viige oma otsus ellu.

Boyd rõhutab, et seda mudelit ei kasutataks staatiliselt, vaid dünaamilise, kiire ja reaktiivse vahendina. Probleemi kohta tuleks hankida võimalikult palju andmeid pidades silmas ka kahanevate tulude seaduse mõju. Mida rohkem me viivitame, seda suurem on võimalik kahju.

Otsuste tegemisel on palju abi nii isiklikust kogemusest kui ka intuitsioonist. Intuitsioon ei ole oletamine, nagu vahel ekslikult arvatakse. Intuitsioon kujuneb välja kogemuste ja õppimise tagajärjel ning asub sügaval alateadvuses.

Tartu Ülikoolis valmis 2014. aastal Maaja Vadi ja Andero Uusbergi juhitud rühmas otsustamise abivahend, millega saab mõõta otsustamise stiili kahes dimensioonis: intuiitiivne ja ratsionaalne otsustamine. Kõige huvitavam selles teadustöös on nende kahe dimensiooni lahutus. Siiani oli tavaliselt eeldatud, et ratsionaalne ja intuiitiivne mõtlemine on vastandid, et otsustajad saab liigitada teljel, mille ühes otsas on ratsionaalne, teises intuiitiivne (joonis 1).



Joonis 1. Otsustamisstiilid (<http://otsustamine.ee/otsustamine>)

Need kaks iseseisvat dimensiooni jagavad otsustajad neljaks tüübiks: vaistlik, paindlik, vältiv ja kaalutlev otsustaja. Eesti juhtide otsustamisstiili väljaselgitamiseks küsitleti 354 otsustajat ja saadi teada, et isegi tippjuhtide hulgas (valimis oli 67 tippjuhti) on palju inimesi, kellel on mõlemad võimekused

madalad. Vältiva stiiliga otsustajad kasutavad minimaalselt kognitiivseid ressursse nn kaugema vaate kujundamiseks ning samas tunnevad vastumeelsust tegeleda detailidega või luua neist detailidest suurem pilt. Sellist tüüpi otsustajad usaldavad sageli teiste arvamust ja teadmisi ning vabastavad ennast nii kaalutleva kui ka intuiitivse otsustamise koormast. Vältiva otsustaja puhul on suur oht langeda grupimõtlemise lõksu, samuti iseloomustab sellist inimest sageli inertsus, vähene pühendumine otsustusprotsessile ning tahtmatus võtta vastutust otsuste eest. Mida väiksem on kindlustunne otsustamisel, seda halvemini viiakse seda ka ellu.

Eesti juhtimisvaldkonna uuringutest 2010. ja 2015. aastal selgub, et kui 2010. aastal määratleti, et uuringu andmetel oli juhtimise tööriistadest enim kasutusel äriprotsesside ümberkorraldus, siis 2015. aastal väitsid vastajad peamiselt, et nende firmades puuduvad konkreetSED juhtimistööriistad, mida nad peamiselt kasutavad. Mitmed vastajad kinnitasid, et tekkinud on küllastumus bürokraatlikest süsteemidest, näiteks kogu firmas juurutatud 360-kraadi tagasiside hindamised. 360° tagasiside hindamine põhineb juhi kompetentsimudelil. Juht täidab küsimustiku ja sama küsimustiku täidavad ka need, kes temaga tööalaselt otseselt kokku puutuvad: temast hierarhias ülalpool, allpool ja samal tasandil paiknevad inimesed. See võimaldab võrrelda juhi enda hinnangut teiste poolt antud hinnangutega organisatsiooni seisukohalt olulistes valdkondades. Teoorias on kõik kaunis, aga kui praktikas ei tehta selle suure materjali hulga pealt mingeid järeldusi ja ei järgne tegusid, siis järgmine kord ei võta osalejad hindamist enam tõsiselt ja suhtuvad sellesse pigem kui tüütusse rutiiini, mis lihtsalt tuleb ära teha. Uuringus osalenud organisatsioonid, kes on saavutanud enda arvates süsteemide osas küpsuse, kasutatavad töövahendeid, millest on abi ka tegelikult ja võrreldes varasemaga ei rakendata neid kampaanialikult.

Kokkuvõtvalt võib öelda, et 21. sajand esitab juhtimise tähtsale osale – otsustamisele – uusi väljakutseid. Meil tuleb üha suurema tõenäosusega vastu võtta otsuseid valdkondades ja küsimustes, milles varem pole otsuseid vastu võetud. Juhtide ja töötajate valikutest sõltub, kui edukad on nende ettevõtted. Mistahes ideed või teooriad on kasutatud, kui neile ei järgne tegusid.

Kui Sa teed seda, mida oled alati teinud, saad vastutasuks selle, mida oled alati saanud. Järelikult, kui soovid teistsugust tulemust, pead käituma uut moodi.

Kasutatud allikad:

Hastie, R. 2001. Problems for Judgement and Decision Making. – Annual Review of Psychology, 2001, Vol 52, p. 657. [Edaspidi **Hastie** 2001]

Heath, C., Heath, D. Otsustamise neli sammu. AS Äripäev, 2014, 325 lk.

McGrath, J., Bates, B. Suurte juhtimisteooriate väike käsiraamat. AS Äripäev, 2016, 263 lk.

Saul, I. Arvad, et oled asjalik otsustaja? Vale vastus, arva uuesti! – Direktor, 14.01.2014.

<http://otsustamine.ee/otsustamine/>