

Eesti Lennuakadeemia TOIMETISED

Artiklite ja uurimistööde kogumik

EESSÕNA

Eesti Lennuakadeemia on oma 20 aastase tegevuse jooksul andnud peamiselt Eesti majandusele, aga ka rahvusvahelisele lennundusele laiemas mõttes üle 500 spetsialisti – seda nii kutseõppe, rakenduskõrghariduse kui magistri tasemel. Lisaks õppekavajärgsele koolitusele saavad meie õppejõud ja lõpetajad kogemuse mitmesugustelt valdkondlikelt seminaridelt, konverentsidelt ja konkurssidelt, koostöös erinevate ettevõtetega lõövad kaasa huvitavates lennundusvaldkonna projektides. Sellised lisategevused pole asjaolude tänuväärse kokkusattumise tulemus – eesmärk on meie õppekavade ja õppejõudude arendamine vastavuses lennundusvaldkonnas toimuvate muutustega, ning lõpetajatele, lisaks erialastele teadmistele ja oskustele, nii vajaliku analüüsi- ja üldistamisvõimekuse arendamine.

Rakenduskõrgharidust reguleerivatest õigusaktidest tulenevalt on lennuakadeemia ülesandeks lisaks õppetegevusele ka arendustegevust hõlmavate teenuste pakkumine ja rakendusuuringute teostamine. Akadeemia-siseselt sätestatakse see õppejõu statuudiga ja korraldatakse vastavalt arengukavale. Aga igapäevane tegevus on hoopis proosalisem. Me peame leidma õppetöös need võimalused, kus saame ühendada õppe- ja teadus-arendustöö või siis lõputööde teemad viia vastavusse ettevõtete arendusvajadustega. Koos üliõpilaste koolitamisega arendame sedasi ka oma personali ning edendame partnerlussuhteid ja koostöövõrgustikke, toetame Eesti lennunduse ja üldisemalt kogu majanduse arengut.

Usun, et me liigume sellise süsteemi terviklikuma väljaarendamise suunas. Pikemas plaanis kavandame koostöös huvigruppidega välja selgitada Eesti lennunduse ja sidusvaldkondade vajadused ning võimalused teadusarendustegevuse korraldamisel, rakendusuuringute ja arendusprojektide teostamisel. Sealhulgas soovime:

- määratleda enda ja partnerite arendustegevuse võimekusi töötaja ja organisatsiooni tasemel, planeerida edasist arengut;
- kaardistada ja prognoosida ettevõtete vajadusi, võimalusi ja võimekusi; sealhulgas lennundussektori ja teadus-arendusasutuste koostöövõimalusi;
- analüüsida teadus-arendustegevuse rahastamisvõimalusi;
- koguda ettepanekuid arendustegevuse võimekust tagavate õppekavade arenduseks.

Loodan, et käesolev kogumik on tubli ja vajalik samm keerulisel teel tervikliku süsteemi väljaarendamiseks. Nende toimetiste kaudu anname põgusa ülevaate akadeemia peamistest uurimisvaldkondadest, oma töötajate ja üliõpilaste tänasest võimekusest ning sillutame teed tõhusama teadus-arenduskorralduse kujundamiseks lennundusvaldkonnas. Siit võiks leida huvitavat lugemist nii üliõpilane, õppejõud, lennundusspetsialist kui lihtsalt lennundushuviline.

Lõpetuseks lubage mul tunnustada kogumiku tegijaid – selle koostajaid ja autoreid, kelle töö väärib jäädvustamist toimetistena. Ühtlasi usun, et esimese kogumiku avaldamisel väljendatud lootus selle traditsiooniks kujunemisele saab käesoleva kogumiku ilmumisega tublisti kinnitust.

Jaan Tamm (PhD)

Rektor

23.09.2013

SISUKORD

ÜLIÕPILASTE LÕPU- JA UURIMISTÖÖD	6
LENNULIIKLUSTEENINDUS	7
L. Uustulnd Inglise-eesti sõnastik lennujuhtimise simulaatorõppes kasutatavatest terminitest	9
P. Jaansalu Distsantsilt lähilennujuhtimise teenust osutava lennujuhi koolitus	14
LENNUNDUSE SIDE- JA NAVIGATSIOONISÜSTEEMIDE KÄITAMINE	19
K. Lõhmus Side-navigatsioonisüsteemide lennukontroll	22
K. Lamp Õhk-maa andmeside Eestis	24
J. Šubitidze Tudengisatelliidi ESTCube-1 vibratsioonikindluse testimine	28
ÕHUSÕIDUKI JUHTIMINE	31
M. Kivimäe Tuleviku ülehelikiirusega reisilennukid	34
M. Krikmann Väsimuse riskijuhtimissüsteemi väljatöötamine ja rakendamine ärilennundusettevõttes AS Panaviatic	39
M-J. Kulla Maailma lennundusajalugu tutvustav õppeaine Eesti Lennuakadeemia üliõpilastele	45
E. Veber Eesti Lennuameti kerglennuki piloodiloo navigatsiooni teooriaeksami sisu uuendamine	48
LENNUNDUSETTEVÕTTE KÄITAMINE	54
O. Siitam Tallinna lennujaama reisiterminali energiakulu analüüs	56
I. Üprus Meeskondade planeerimise süsteem ja seda mõjutavate tegurite analüüs AS Estonian Air Näitel	61
K. Kotkas Eesti karistus- ja süüteo menetlusõiguse mõju lennuohutust mõjutavatest juhtumitest vabatahtliku teatamise süsteemi rakendamisele	66
ÕHUSÕIDUKI EHTUS JA HOOLDUS	72
M. Lentsius Õppetreeninglennuki PTO-4 rekonstrueerimine	75
S. Heering Mehitamata õhusõiduki konstrueerimine videolendudeks	79
J. Kõuts Miniklappide mõju õhusõiduki Jantar Standard 3 lennuomadustele	83
ÕPPEJÕULT	88
K. Märten Digiosilloskoopide iseärasused	89

ÜLIÕPILASTE LÕPU- JA UURIMISTÖÖD

LENNULIIKLUSTEENINDUS

SAATEKS

Lennuliiklusteeninduse valdkonna arengut mõjutavad olulisemad tegurid on lennuliikluse kasv, ühise lennunduskeskkonna loomine Euroopas ning sellest tulenev järjest laialdasem ühtsete standardite kasutuselevõtt. Lennuliikluse kasvuga toimetulemiseks peavad teenuseosutajad arendama õhuruumi korraldust, võtma kasutusele efektiivsemaid lennujuhtimisprotseduure, mis põhinevad uutel tehnilistel lahendustel. Euroopa ühise lennunduskeskkonna ehk Euroopa Liidu *Single European Sky* (SES) initsiatiivi üks nurgakive on õhuruumi liigse fragmenteerituse vähendamine. Eesmärgi saavutamiseks osalevad ettevõtted regionaalsetes koostööprojektides.

Lennuakadeemia lennuliiklusteeninduse koolitusosakond panustab ettevõtete pingutustesse simulaatorkeskkonna arendamisega, konsultatsioonidega ja koolitustega, kus töötajad õpivad kasutama kavandatud protseduure ja uusi süsteeme.

2012. aastal alustasime projektiga, mille eesmärgiks on radarlennujuhtimise simulaatori funktsionaalsuste arendamine vastavaks ettevõttes kasutusel oleva lennujuhtimissüsteemiga. Projekti tegevustena konsulteerivad osakonna töötajad simulaatori tarkvara tootjafirma UFA Inc. töötajaid tehniliste nõuete osas. Selle projektiga seotud viimased tarkvara muudatused ELA lennujuhtimise simulaatoris toimuvad 2014. aasta märtsis.

Lennujuhtimise protseduuride valdkonnas on sõlmitud koostööleping, mille kohaselt pakume Lennuliiklusteeninduse AS-le Tartu lennuvälja GNSS-põhiste protseduuride arendustegevuse raames konsultatsiooniteenust. Meie ülesandeks on teha ettepanekuid standardsete IFR-väljumisprotseduuride (SID-de) loomiseks ning koostada kavandi projekt Tartu lennuvälja kohalike lennujuhtimisprotseduuride (sh hajutusprotseduuride) täiendamiseks. Uute lennujuhtimisprotseduuride kasutuselevõtule eelnevad koolitused korraldatakse lennuakadeemia simulaatoris.

Kogumikus avaldatud lõputööd esindavad kahte erinevat näidet meie üliõpilaste uurimisteemade valikust. Esimene teema sai valitud, kuna autor soovis luua lahenduse õppetöös kogetud vajakajäämisele erialase sõnastiku osas. Teine teema on ajendatud autori huvist laiendada oma teadmisi ja uurida sellist teemat, mis ei ole oma uudsuse tõttu otseselt seotud õppekavaga ettenähtud õppetöös lahendamist vajavate probleemidega.

Anu Vare

Lennuliiklusteeninduse osakonna juhataja

INGLISE-EESTI SÕNASTIK LENNUJUHTIMISE SIMULAATORÕPPES KASUTATAVATEST TERMINITEST

LAURA UUSTULND
Juhendaja Ilmar Anvelt (MA)

Märksõnad: sõnastik, terminid, sõnavara, lennujuhtimine, simulaatorõpe

Sissejuhatus

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli koostada inglise-eesti sõnastik lennujuhtimise simulaatorõppes kasutatavatest terminitest.

Lõputöö autorit ajendas teemat valima isiklik huvi lennunduse vastu ning soov anda panus lennundusterminite kogumisse. Kuna autor on lennujuhtimise simulaatorõppe läbinud lennujuhiõpilane, nägi ta pärast õppe läbimist vajadust koguda kokku ning seletada lahti lennujuhtimise simulaatorõppes esinevaid keerukamaid ingliskeelseid termineid ja väljendeid. Selle vajaduse põhjustas asjaolu, et lennujuhtimisteemalisi inglise-eesti sõnaraamatuid ei ole Eestis veel avaldatud. On küll olemas erinevaid allikaid, kust leida lennundusterminoloogiat, kuid ka neid on üsna piiratud hulk.

Selle sõnastiku sihtgrupiks on eelkõige lennundusspetsialistid, tuues esile lennujuhtimissimulaatoriga kokku puutuvaid inimesi, kes kasutavad neid termineid pea igapäevaselt. Siiski pole sõnastik suunatud kitsalt vaid lennundusvaldkonna esindajatele: antud sõnastiku kasutamisest peaks abi saama ka tõlgid, tavalugejad – igüks, kel võiks tekkida vajadus lugeda või tõlkida lennujuhtimisalaseid tekste.

Antud lõputöö koosneb kolmest osast: kaks teoreetilist peatükki ja sõnastik. Esimeses peatükis annab autor ülevaate lennujuhtimise ajaloo, selle alajaotuste ja raadioside põhimõtete kohta. Lisaks saab informatsiooni ka Eesti Lennuakadeemias kasutatavast lennujuhtimissimulaatorist.

Teises teoreetilises peatükis tutvustab autor üldiselt sõnastike koostamise põhimõtteid. Ülevaade antakse ka käesoleva sõnastiku sihtgrupist, koostamispõhimõtetest, varasematest lennundusterminite kogumikest ning sõnastiku koostamisel ette tulnud probleemidest.

Kolmas peatükk, sõnastikuosa, sisaldab lennujuhtimissimulaatoris kasutatavaid termineid, nende eestikeelseid vasteid ning seletusi.

Lõputöö autor avaldab siirast tänu töö juhendajale Ilmar Anveltile ning Eesti Lennuakadeemia õppejõududele Anu Varele, Carmen Ruusile ja Kristjan Kõrgesaarele, kelle asjakohased nõuanded ning kommentaarid olid selle lõputöö valmimisel suureks abiks.

Lõputöö tulemused

Ingliskeelsete terminite valik põhines autori subjektiivsel kogemusel, millised terminid võiksid lennujuhtimissimulaatoris eelkõige vajalikud olla. Sõnastiku termineid kogus autor nii lennundussõnavara sisaldavatelt internetilehekülgedelt (sh MKMi lennundussõnavara terminibaas), LLT ASi Lennuliiklusteeninduse käsiraamatust, Marika Kisandi raamatust „Sissejuhatus lennundusraadiosidesse“, Rein Järve ja Alar Virvese sõnastikust „Lennundusettevõtte inglise/soome/eesti/vene sõnastik“, Milvi Jürissaare raamatust „Lennundusmeteoroloogia“ kui ka isiklikest loengukonspektidest.

Kõigepealt töötles autor läbi erinevad eelnevalt mainitud allikad ning kogus sealt kokku hulga termineid. Seejärel algas selekteerimine leidmaks termineid, mis seostuvad lennujuhtimise ning lennujuhtimise simulaatorõppega. Kokku kogus autor esialgu umbes 250 terminit ning esitas need Exceli tabeli kujul (joonis 1).

	A	B	C
61	conditional release	loovutamine tingimustega	loovutamine, mille korral tingimused määratakse eraldi (nt. loovutamine pöördeks, tõusuks jne.)
62	control area	lennujuhtimispiirkond	maa- või veepinna kohal olevast teatud piirkõrgusest kõrgemal paiknev kontrollitav õhuruum
63	control zone	lähiala	kontrollitav õhuruum, mis ulatub maa- või veepinna teatud piirkõrguseni
64	controlled aerodrome	kontrollitav lennuväli	lennuväli, kus toimub lennuväljalikkuse lennujuhtimine
65	controlled airspace	kontrollitav õhuruum	piiritletud õhuruum, kus osutatakse lennujuhtimisteenust vastavalt õhuruumi klassifikatsioonile
66	controlled flight	kontrollitav lend	lennujuhtimiseks loal toimuv lend
67	cruise climb	reisitõus	lennuki piloteerimistehnika, mis tagab lennuki massi vähenemisel lennukõrguse pideva suurenemise
68	cruising level	reisilennukõrgus	lennukõrgus, millel toimub suurem osa lennust
69	current flight plan	kehtiv lennuplaan	lennuplaan koos võimalike muudatustega, mis tulenevad lennujuhtimiseks lubadest
70	danger area	ohuala	piiritletud õhuruum, milles võib teatud ajavahemikes aset leida õhusõidukeid ohustav tegevus
71	dead reckoning	arvutuslik navigatsioon	asukoha määramine, kasutades ära eelnevaid teadaolevaid asukohti ja informatsiooni suuna, aja ja kiiruse kohta
72	discrete code	eraldatud kood	4-numbriline SSR-kood, mille kaks viimast numbrit ei tohi olla '00'
73	displaced threshold	nihutatud lävi	lävi, mis ei asu raja otsas

Joonis 1. Väljavõte esialgsest terminikogumist Exceli tabelis. [Autori joonis]

Lahter A sisaldab termineid tähestikulises järjekorras, vajadusel on sinna lahtrisse märgitud ka lühendid. Lahtrist B võib leida terminite eestikeelse vaste ning lahter C sisaldab terminite eestikeelseid seletusi.

Kui kõik terminid olid üle kontrollitud, moodustati neist sõnastik Wordi dokumendina (joonis 2).

G
gate värav
<i>lennujaama terminali osa, mis on mõeldud lennuki parkimiseks reisijate peale- ja maha mineku ajaks</i>
glide path glissaad
<i>õhusõiduki vertikaalsuunalise juhtimise jaoks määratud laskumisprofiil lõpplähenemisetapis</i>
go around kordusring
<i>protseduur, kus õhusõiduk ei saa mingil põhjusel maanduda ning läheb uuele ringile</i>

Joonis 2. Väljavõte kolmandas peatükis olevast sõnastikust. [Autori joonis]

Sõnastiku koostamisel tuli ette ka probleeme: näiteks tuli arvestada sellega, et sõnastikku võib sattuda lugema ka lennunduskauge inimene, kes eelistab sõnade puhul lihtsamaid seletusi. Paaril korral esines ka olukordi, kus termini eestikeelne vaste osutus liiga pikaks ja kohmakaks, mistõttu tuli autoril vastet veidi lühendada ja suupärasemaks muuta. Segadust tekitasid ka lühendid, eelkõige küsimus, kas lisada need sõna ette või järele ning kuidas koostada alfabeetiline järjestus – kas termini enda või tema lühendi järgi? Autor lahendas olukorra, lisades lühendi termini järele sulgudesse ja järjestades seega terminid alfabeetilise järjekorra alusel, võtmata arvesse lühendeid. Tuli ka ette olukord, kus sõnal puudus eestikeelne vaste, kuid ka see probleem sai lahenduse ja nii saigi näiteks sõna *table-top simulator* autori poolt vaste *laudsimulaator*.

Kokkuvõte

Antud lõputöö koostati kolmes peatükis, millest kaks esimest on teoreetilised ning kolmas peatükk koosneb inglise-eesti sõnastikust lennujuhtimissimulaatoris kasutatavatest terminitest.

Lõputöö keskendub lennujuhtimissimulaatoris kasutatavale sõnavarale. Lõputöö eesmärk on abistada lennujuhiõpilasi ja teisi lennundusspetsialiste lennujuhtimissimulaatoris kasutatavate terminite mõistmisel.

Lõputöö tulemusena valmis käepärane A5-formaadis sõnastik, mida saavad nii lennujuhtimissimulaatoris õppivad lennujuhiõpilased õppevahendina kui ka ülejäänud teemahuvilised oskussõnastikuna kasutada. Lisaks on üheks lõputöö väljundiks ka elektrooniline andmebaas, mida lennundusspetsialistid vastavalt vajadusele täiendada saavad.

L. Uustulnd. *Inglise-eesti sõnastik lennujuhtimise simulaatorõppes kasutatavatest terminitest:* lõputöö, juhendaja Ilmar Anvelt (MA). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 15 allikat.

SUMMARY

GLOSSARY OF TERMS USED IN AIR TRAFFIC CONTROL TRAINING SIMULATOR

Key words: dictionary, terminology, vocabulary, air traffic control, simulator training

The main objective of the present graduation thesis was to collect terminology used in the air traffic control (ATC) training simulator, and present the terms in the form of a dictionary. The glossary can be found in the third part of this thesis. Terms and expressions in this dictionary are chosen according to the author's personal opinion based on her experience while training in the ATC simulator.

The thesis consists of three chapters: two theoretical parts and a glossary. The first theoretical part of this thesis gives an overview of air traffic control in general, introducing its history and concept. This part also provides information about the ATC simulator used in Estonian Aviation Academy and gives a brief overview of the main principles of the RTF phraseology.

The second chapter of this thesis gives an overview of dictionaries in general and it also describes the making process of this one. It will provide information about the aim of this dictionary and the main problems related to this thesis are also disclosed in this chapter. The second chapter also provides information about dictionaries and materials about aviation terminology.

The third chapter of this thesis presents the dictionary of the terms and phraseology used in the ATC simulator. It contains the terms in English, followed by their Estonian equivalents. All the terms are provided with a describing sentence, which makes it easier to understand them. Well-known abbreviations for some words have also been included.

DISTANTSILT LÄHILENNUJUHTIMISE TEENUST OSUTAVA LENNUJUHI KOOLITUS

PRIIT JAANSALU

Juhendaja Rene Lüll, konsultant Signe Vanker (MA)

Märksõnad: distantsilt lähilennujuhtimine, kaugjuhtimistorn, koolitus

Sissejuhatus

Autor on valinud teemaks distantsilt lähilennujuhtimise teenust osutava lennujuhi koolituse, sest selle teema käsitlemine võiks olla esimeseks sammuks Eestis kaugjuhtimistorni lennujuhi koolituse võimaldamisel. Antud hetkel ei ole veel mõistlik koolitamisega seoses rääkida seadmete ja muu materiaalse vara soetamisest ega modifitseerimisest – puuduvad ametlikud andmed analoogse kontseptsiooni juurutamisest Eestis.

Lõputöö eesmärk on töötada välja koolituse teemad, mis tagaksid lennujuhile piisavad teadmised ja kogemused ning ühtlasi valmistaksid lennujuhi ette kaugjuhtimistorniga töötamiseks. Ühtlasi käsitletakse koolituse struktuuri ja antakse Eesti Lennuakadeemia soovitusel koolituse osas.

Analüüsitakse kaugjuhtimistorni kontseptsiooni kasutuselevõttust tulenevaid muutusi lennujuhi töös ning kasutuselolevaid Eurocontrol'i väljastatud lennujuhi koolituseeskirju. Koolitusteemade kirjeldamisel kasutab autor Rootsis kasutusel oleva kontseptsiooni ja Euroopa ühtse õhuruumi lennuliikluse korraldamise teadusuuringu (SESAR JU) *Remote Tower* projekti väljaandeid püüdes säilitada teemade üldisuse ja kõikehõlmavuse. Lõputöö on kasulik Eesti Lennuakadeemia lennuliiklusteeninduse koolitusosakonna personalile ja informatiivse materjalina kõigile, kes kaugjuhtimistorni kontseptsiooni vastu huvi tunnevad.

Lõputöö metoodika põhineb valdavalt kirjanduse analüüsil ja läbiviidud kahel intervjuul. Peamisteks kirjandusallikateks on Eurocontrol'i algkoolituse eeskiri, *Specification for the ATCO Common Core Content Initial Training*, SESAR JU töögrupi 6.9.3 väljaanne ja Hollandi riikliku kosmosesõidukite labori (NLR-i) *Advanced Remote Tower* (ART) projekti käsitlevad väljaanded.

Lõputöö koosneb neljast peatükist, mis omakorda on jaotatud alapeatükkideks.

Lõputöös kasutatakse läbivalt terminit „kaugjuhtimistorn“ kirjeldamiseks kindlat distantsilt lähilennujuhtimist võimaldava süsteemi osa. Termin „distantsilt lähilennujuhtimine“ on kasutusel kui üldistav termin, mis ei seostu mingi kindla süsteemi, kontseptsiooni ega lahendusega.

Lõputöö koostamisel on autor nõuandeid ja abi saanud juhendaja Rene Lüllilt, konsultant Signe Vankerilt ja Eesti Lennuakadeemia lennuliiklusteeninduse koolitusosakonna koolitusjuht Anu Varelt.

Uurimistöö tulemused

Esmalt annab autor ülevaate Eesti väikelennuväljadel (Tartu, Pärnu, Kärkla ja Kuressaare) töötavate lennujuhtide olukorrast toonitamaks alternatiivi vajadust praegusele olukorrale. Autor esitab lennujuhtide koolituste statistika ning kirjeldab muid probleeme tuues selle abil esile kaugjuhtimistorni kontseptsiooni kasutuselevõtu tähtsuse Eestis. Esimese peatüki sisu põhineb Eesti e-AIP-i ja Eesti Lennuakadeemia täienduskoolituste registri andmetel

Järgnevalt tutvustatakse kaugjuhtimistorni kontseptsiooni põhimõtteid, süsteemi ning ajalugu. Autor annab ülevaate erinevatest kontseptsioonidest ning toob välja nende kasutuselevõtuga seonduvad võimalikud muutused lähilennujuhitöös. Esitatakse autori seisukoht, milline lahendus võiks Eesti kontekstis olla sobivaim. Peatükk tugineb internetiallikatel ning SESAR JU ja NLR-i kaugjuhtimistorni kontseptsiooni käsitlevatel allikatel.

Töö eesmärgi suunas liikudes tutvustatakse esmalt lennujuhi koolituse etappe ja sisu. Seejärel, seostades omavahel töökeskkonna vahetusest tulenevaid võimalikke muudatusi lennujuhi töövõtetes ja koolitusele esitatud nõudeid, pakub autor kaugjuhtimistorni lennujuhi koolituste struktuuri ja teemad. Teemasid sõnastades ja kirjeldades analüüsib autor NLR-i ART-projekti väljaandeid ja Eurocontrol'i algkoolituse eeskirja, püüdes välja tuua kordamist vajava ja ühtlasi uuest tehnoloogiast/töövõtetest ning keskkonnamuutustest tingitud olulised, seni puutumata teemad. Autor viib läbi kaks intervjuud: Eesti Lennuakadeemia lennuliiklusteeninduse koolitusosakonna lennujuhtimise juhtivinstruktori Kristjan Kõrgesaarega ja Luftfartsverket (LFV) lennuliikluse korralduse vanemspetsialisti Mikael Henrikssoniga. Intervjuu hr Kõrgesaarega on suunatud ennekõike Eesti Lennuakadeemia olukorra ja valmisoleku uurimiseks ja intervjuu hr Henrikssoniga uurimaks hetkeolukorda Rootsis ning kuidas nende distantsilt lähilennujuhtimise teenust osutavate lennujuhtide koolitus lahendatud on. Analüüsi tulemusena jõuab lõputöö koostaja teadmisele, et tingituna muutuste iseloomust peaks koolitus jagunema kaheks: ümberõpe ja üksusekoolitus. Töö koostaja ei näe vajadust kaugjuhtimistorni temaatikat süvitsi algkoolituses käsitleda – mitte kõik lennujuhid ei hakka tööle kaugjuhtimistorni juhtimiskeskuses. Ümberõppes käsitletavate kaugjuhtimistorni opereerimist hõlmavate teemadena tuuakse välja 11 teemat. Nendest üheksa on teoreetilised ning uute teadmiste omandamiseks. Kaks teemat on praktiliste väärtustega, esmaste kogemuste omandamiseks ning õpitud teadmiste kontrolliks. Ümberõppeks välja pakutud peateemad on:

- Lennuliikluse kaugjuhtimistorni (RVT) kontseptsioon ja ülesehitus;
- Lennundusseadus (juhul kui lennundusseadusesse viiakse sisse distantsilt lähilennujuhtimise teenuse osutamise seonduvad muudatused);
- RVT muudatused võimalustes ja protseduurides võrreldes tavapärase lähilennujuhtimisega;
- Vastutus;
- RVT tehnika (tehnoloogia) ja varustuse kasutamine;
- Operatsioonilised töövõtted ja protseduurid;
- Kriteeriumid ja piirangud;
- Süsteemi rikke ja tagavara protseduurid;
- Mitme lennuvälja liikluse üheaegne juhtimine;
- Tehnika ja protseduuridega tutvumine;
- RVT pädevuse hindamine.

Viimases peatükis antakse nõuandeid Eesti Lennuakadeemiale, eesmärgiga võimaldada koolituse läbiviimine akadeemias. Jõutakse seisukohale, et Eesti Lennuakadeemia on sobiv nii ümberõppe kui ka üksusekoolituse läbiviijaks. Ettepanekud on siiski üsna üldised. Kuna RVT lahendust hakkab kasutama lennujuhtimisteenust osutav ettevõtte, ei ole Eesti Lennuakadeemia kaugjuhtimistorni tehnoloogia kasutuselevõtu initsiatiiv ka põhjendatud. Eesti Lennuakadeemia võiks pigem olla kui teadus- ja arenduskeskus käsitledes ja populariseerides kontseptsiooni Eestis. Edasine areng aga sõltub vajaminevate investeeringute suuruselt ning selle tasuvusest.

Kokkuvõte

Erinevates riikides on kasutusele võetud lennuliikluse kaugjuhtimistorni tehnoloogia erinevad vormid. Neist lähim riik meile on Rootsi, kus on kasutusel SESAR JU projektides käsitletud RVT-kontseptsiooniga sarnased ROT- ja ART-kontseptsioonid. Autor peab mõttekaks just nende kolme kontseptsiooniga sarnase lahenduse kasutuselevõttu Eestis neile püstitatud eesmärkide ja ootuste sarnasuse põhjal.

Uurimistöö tulemusel on pakutud distantsilt kaugjuhtimistorni abil lähilennujuhtimise teenust osutava lennujuhi koolituse struktuur ja teemad. Teemade sõnastamisel ja kirjeldamisel pidas autor silmas Eesti osalust SESAR JU *Remote Tower* projektis.

Kuna puuduvad ametlikud andmed kaugjuhtimistorni tehnoloogia planeeritavast kasutuselevõttust Eestis, ei ole võimalik ette näha, millised muutused koolitusettevõtet täpselt ootavad. Seda arvesse võttes hoidus autor konkreetsete ettepanekute tegemisest Eesti Lennuakadeemiale ning piirdus soovitusel olla valmis analüüside ja uurimuste läbiviimiseks ning koostööks.

On veel pikk maa minna jõudmaks punkti, kus võiksime tõdeda, et Eestis ollakse valmis ekspluateerima kaugjuhtimistorni tehnoloogiat ja koolitama vastavalt pädevat personali. Kõik aga algab kusagilt – autor on arvamusel, et koolitusteemade sõnastamine on kui nurgakivi panek koolituse ülesehitusel.

P. Jaansalu. *Distantsilt lähilennujuhtimise teenust osutava lennujuhi koolitus: lõputöö, juhendaja Rene Lüll, konsultant Signe Vanker (MA). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.*

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 25 allikat.

SUMMARY TRAINING OF A REMOTE AIR TRAFFIC CONTROLLER FOR AERODROME TRAFFIC

Key words: remote air traffic control, remotely operated tower, remote and virtual tower, advanced remote tower, air traffic control training

Centralization is a relevant keyword used to describe nowadays' society. To ensure profitability in business, costs have to be effective and controlled. A way has been found to ensure efficiency and competitiveness of small regional airports – it is called **remote tower** concept. Consistent research and development have enabled to open up a new reality – remote tower – different versions of which have already been exploited in various countries. For Estonia, the closest of such countries is Sweden. Estonia, however, lacks her national official guidelines and regulations that should cover the remote tower technical operations and personnel training.

The author has decided to examine the training of air traffic controllers who would provide remote air traffic control service for aerodromes. Hence, the ideas and suggestions made in this research, could be the very first step to facilitate the respective training in Estonia. Today, in view of such training, it is not reasonable to speculate over buying the technology or any kind of specific hardware because the concept of remote controlling of aerodrome traffic must take root first.

The purpose of this thesis is to develop the topics of training, which would ensure that the trainees acquired sufficient knowledge and practical experience. The author also basically outlines the structure of the training and provides Estonian Aviation Academy with his suggestions.

The author analyses the possible upcoming changes to ATCO operations, which would result from implementing the remote tower concept and EUROCONTROL guidelines

for initial training. Describing the topics of training, the author uses deliverables of Swedish concepts of remotely operated tower and advanced remote tower, combining them with the deliverable of SESAR JU Remote Tower project whilst trying to maintain universality and comprehensiveness. The material presented in this thesis can be useful for the personnel of Estonian Aviation Academy's ATS training department. It can also serve as informative material for everybody, who is interested in the subject area.

The methodology of this thesis predominantly consists in analysing the specialist literature and the outcomes of the two interviews. The main specialist literature sources are EUROCONTROL guidelines for initial training, SESAR JU deliverable of workgroup 6.9.3 and NLR deliverables concerning the ART concept.

This thesis consists of four chapters, which are divided into subchapters. Chapter 1 describes the present situation of small regional airport ATCOs and AFISOs. The aim of this chapter is to explain the importance of implementing the remote tower concept. This chapter is based on Estonian e-AIP and the data from Estonian Aviation Academy's training register. Chapter 2 opens up the concept of remote tower and gives an overview of its development. It also characterizes the changes in air traffic controller's job, if the remote tower concept is applied. The ideas presented in this chapter have been constructed on readings of internet sources and deliverables of SESAR JU and NLR concepts. Chapter 3 discusses the structure of the training and EUROCONTROL guidelines, associating them with what has been discussed in Chapter 2. In the end, the author presents his vision of remote tower ATCO training structure and topics. Chapter 4 offers authors suggestions to Estonian Aviation Academy for practical steps to be taken in order to open such training.

Based on the research, as discussed in the chapter above, the author has drawn the following main results and conclusions: the training of a remote tower air traffic controller should consist of a conversion training which is followed by unit training; author has come up with 11 topics to be dealt with in the conversion training; Estonian Aviation Academy should be the research and development centre for the concept in Estonia.

Hereby, the author would like to thank his research advisor Rene Lüll, research consultant Signe Vanker and ATS training program director Anu Vare for their advisory guidance and analyst support provided to him when developing this thesis.

LENNUNDUSE SIDE- JA NAVIGATSIOONISÜSTEEMIDE KÄITAMINE

SAATEKS

2012/13. õppeaastal jätkus side ja navigatsiooni osakonna koostöö oma erinevate koostööpartneritega lennunduses ja kõrgkoolides. Tunnustuseks meie koostööle Tartu Ülikooli tudengisatelliidi ESTCube-1 töögrupiga oli meie üliõpilaste ja õppejõu osalemine TÜ rektori vastuvõtul, millel tänati aktiivseid töögrupi liikmeid töökorras satelliidi eduka orbiidile toimetamise puhul. Käesolevas kogumikus on toodud kokkuvõtte Jana Šubitidze lõputööst, milles käsitletakse tudengisatelliidi vibratsioonikindluse testimist. Töö autor testis ettevõtte *Stoneridge Electronics* laboris satelliidi vastupidavust vibratsioonidele, mis mõjutavad kanderaketti erinevate operatsiooni faaside ajal. Testimise tulemusel töötati välja ettepanekud satelliidi konstruktsiooni kindlustamiseks, mis ka ESTCube-1 juures realiseeriti. Töö juhendaja Viljo Allik (TÜ) on juhendanud ka varasemaid ELA üliõpilaste lõputöid, mis kasvasid välja üliõpilaste osalusest tudengisatelliidi töögrupi tegevustes.

Eesti lennujaamade ja õhuväe aktuaalseks probleemiks on muutunud uute side- ja navigatsioonisüsteemide kasutuselevõtt ning nende hooldamine ja testimine. Side- ja navigatsioonisüsteemide täielik kontroll jaguneb maapealseks kontrolliks ja lennukontrolliks, mida teostatakse selleks otstarbeks vastava aparatuuriga varustatud lennukilt. Sellist lennukit Eestil ei ole ja seepärast tuleb seda teenust osta välismaalt, mis suurendab veelgi kuluka lennukontrolli maksumust. Üks lennukontrollile minevate kulude vähendamise võimalusi on maapealse kontrolli täiendav tõhustamine, mis võimaldaks vähendada vajalike lennukontrollide toimumise sagedust. Nimetatud valdkonnast tulenesid 2013. a kevadel kaitsstud kaks lõputööd: Rauno Butov „ILS-i parameetrite mõõtmine ja hooldustööd“, juhendaja Lauri Stroom (Tallinna Lennujaam) ja Kaur Lõhmus „Side-navigatsioonisüsteemide lennukontroll“, juhendaja Mati Tarlap (LLT AS). Käesolevas kogumikus on toodud Kaur Lõhmuse lõputöö kokkuvõtte. Selle töö väärtuslikumaks tulemuseks on autori poolt esitatud ettepanekud, millede rakendamine võimaldab vähendada perioodilist lennukontrollide arvu aastas kahelt korralt ühele.

Oluliseks teemaks side- ja navigatsiooni valdkonnas on Euroopa lennuliikluse korraldamise moderniseerimise projekt SESAR (*Single European Sky ATM Research*), mille eesmärk on luua efektiivselt toimiv lennujuhtimise tehniline tugi. Ühe osana selles nähakse ette õhk-maa andmesidet, mis toetab eesmärki muuta lendamine efektiivsemaks ja keskkonnasõbralikumaks, pakkudes lennujuhtide ja pilootide vahelise suhtluse alternatiiviks andmesidesuhtlust. Antud teemat käsitleb kogumikus toodud kokkuvõtte lõputööst „Õhk-maa andmeside Eestis“, mille autor on Keit Lamp. Märkimisväärne on see, et töö autor võeti tööle pärast ELA lõpetamist

Lennuliiklusteeninduse AS arendusosakonda. Samas ettevõttes töötab ka nimetatud töö juhendaja, ELA vilistlane Allan Tart.

Kogumiku teine osa sisaldab meie teeneka lepingulise õppejõu Kalev Märtensi koostatud metoodilist materjali, milles käsitletakse digitaalostsilloskoobi kasutamise iseärasusi. See sisaldab olulist teavet, mida peab teadma digitaalostsilloskoobi kasutamisel raadiosüsteemide kontrollmõõtmistel.

Prof. Jaak Umborg (PhD)

Side ja navigatsiooni osakonna juhataja

SIDE-NAVIGATSIOONISÜSTEEMIDE LENNUKONTROLL

KAUR LÕHMUS

Juhendaja Mati Tarlap, konsultant Leho Roots (MSc)

Märksõnad: lennukontroll, selle nõuded ja meetodika, lennuohutus

Side- ja navigatsioonisüsteemid on kiirelt arenevas lennundusvaldkonnas muutumas järjest tähtsamaks lennuohutust tagavaks lüliks. Kuna lennuliiklus muutub maailmas aina tihedamaks ning seda on järjest keerulisem kontrollida, siis selle sujuvamaks ning lihtsamaks tegemiseks on tarvis kasutuses olevaid side- ja navigatsioonisüsteeme pidevalt uuendada, täiendada, seadistada ning kontrollida. Selleks, et seadmete ettenähtud tööparameetreid kindlustada, on vaja teostada nende pidevat kontrolli. Side- ja navigatsioonisüsteemide täielik kontroll jaguneb lennukontrolliks ja maapealseks kontrolliks.

Lõputöö esimeses peatükis selgitati lühidalt lennukontrolli mõistet ning kuidas side- ja navigatsioonisüsteemide kontroll üldiselt terviklikult jaguneb – mis eristab maapealset kontrolli lennukontrollist ja vastupidi. Lisaks toodi välja lennukontrolli teostamise põhivajadus – kindlaks teha signaali parameetrite nõuetele vastavus maapealsest seadmest õhusõidukini, mis tagaks side- ja navigatsiooniseadmetest tuleneva lennuohutuse.

Teises peatükis toodi välja põhilised lennukontrolli tüübid: seadme asukoha sobivuse, üldise töövõimekuse, perioodilise, erijuhtumi ja järelevalve kontroll. Kõige sagedamini teostatakse perioodilist kontrolli (kaks korda aastas, kui ei ole ICAOga teistmoodi kooskõlastatud).

Kolmandas peatükis selgitati lennukontrollide läbiviimise meetodikaid, mida erinevate side- ja navigatsiooniseadmete testimisel rakendatakse ning ICAO poolt sätestatud nõudeid. Põhiliste meetoditena, mida kasutatakse, toodi välja erinevate nurkade ja kurssidega lähenemised täppislähenemise süsteemide puhul ning orbitaal- ja radiaallennud, olenevalt vastavast kontrollitavast seadmest. Autor andis valikuliselt ülevaate ülikõrgsagedusliku ringsuunalise raadiomajaka (VOR), kauguse mõõtmise seadme (DME), instrumentaalmaandumissüsteemi (ILS), täppislähenemistrajektoori näituri (PAPI), primaar- ja sekundaarradari (PSR/SSR), peilingaatori ning raadiojaamade lennukontrolli nõuete ja kasutatavate meetodite kohta.

Empiirilises osas andis autor analüütilise ülevaate Eestis tehtud lennukontrollide tulemuste kohta. Kuna ühesuguseid navigatsioonisüsteeme on Eestis mitu, siis analüüsi valikuliselt Kuressaare lennuvälja VOR/DME 2011. ja 2012. aasta tulemusi ning 2013. aasta Tallinna lennuvälja ILS tulemusi, kuna lõputöö autor osales käesoleva aasta kevadel nimetatud süsteemi kontrollimõõtmistel. Tulemuste

analüüsil tuginedi teoreetilises osas kirjeldatud ICAO poolt sätestatud nõuetele, millest selgus, et suuremaid seadmete funktsionaalseid häireid ei ole Eestis side- ja navigatsioonisüsteemidel esinenud ning selle trend on jätkuvalt positiivne. Ka ei ole Eestis toimunud lennuõnnetusi, mille põhjusi saaks otsida side- ja navigatsioonisüsteemide talitushäiretest. Tuginedes positiivsetele lennukontrolli tulemustele, toob autor välja mõned võimalused ja ettepanekud, mida on plaanis lähitulevikus hakata Eestis rakendama, et vähendada perioodilise lennukontrolli arv aastas kahelt korralt ühele. Kirjeldatavad ideed ja ettepanekud on tekkinud arutelude käigus lennundusvaldkonnaga seotud inimestega.

K. Lõhmus. *Side-navigatsioonisüsteemide lennukontroll:* lõputöö, juhendaja Mati Tarlap, konsultant Leho Roots (MSc). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 28 allikat.

SUMMARY FLIGHT INSPECTION OF RADIO NAVIGATION AIDS

Keywords: flight inspection, requirements and methodology, aviation safety

Safety assurance nowadays is the most important issue in the vastly growing aviation sector, where air traffic is getting more intensive and harder to manage by Air Traffic Control (ATC). Radio navigation aids have an important role in providing safety in air traffic services. All radio navigation aids need to be inspected regularly in order to ensure their functionality as required and have respective evidence. Inspection as such is divided into two parts: ground inspection and flight inspection. Testing that is carried out at the facility on the ground with special test equipment is called ground inspection, and, flight inspection when carried out in the air with a suitably equipped aircraft. The purpose of this graduation thesis is to introduce the objective of flight inspection, its concept, main requirements and methodology for different navigation aids to meet. Also, the author selectively chooses some of the navigation systems used in Estonia to explain and analyze the test results based on the flight inspection procedures and International Civil Aviation Organization (ICAO) requirements. After the analysis it is evaluated whether the test results have met or formidably exceeded the given requirements. Based on the given evaluations the author makes propositions in the conclusions chapter. In the first chapter, the concept of flight inspection and the need for it are addressed. Here it is explained how flight inspection differs from ground inspection and vice versa. The main purpose of flight inspection of radio navigation aids is to examine the signals in-space as received at the aircraft in regard to different factors such as structures on the ground, uneven terrain, site conditions, propagation effects and so on to guarantee safety in air traffic.

Märksõnad: Ühtne Euroopa Taevas, lennujuhi ja piloodi vaheline andmeside, CP-DLC, andmevahetusteenused, andmevahetusteenuste operatsioonilised aspektid, andmesidesüsteemid, andmesidesüsteemide komponendid, Eesti Lennuakadeemia side- ja navigatsioonisüsteemide käitajate koolitus, lennuandmete analüüs

Lennunduses on toimumas radikaalsed muutused. Rohkem kui kümme aastat tagasi hakati arendama programmi „Ühtne Euroopa taevask“. Aastal 2004 kinnitas Euroopa Komisjon oma vastava määrusega: „Ühtset Euroopa taevast käsitleva algatuse eesmärk on suurendada olemasolevaid ohutusstandardeid ja lennuliikluse üldist tihedust Euroopas, optimeerida kõikide õhuruumi kasutajate nõuetele vastavat mahtu ning vähendada hilineid“ [4:25]. Kuna peamiselt eelmise sajandi keskel välja töötatud tehnoloogia võimekus selleks on ammendunud, siis sellise algatuse tehnilise osa toetuseks on loodud Euroopa lennuliikluse korraldamise moderniseerimise projekt SESAR (*Single European Sky ATM Research*), mille eesmärk on luua tõhus lennujuhtimise infrastruktuur [7]. Ühe infrastruktuuri osana nähakse ette õhk-maa andmesidet, mis toetab eesmärgi muuta lendamine efektiivsemaks ja keskkonnasõbralikumaks, pakkudes lennujuhtide ja pilootide vahelise häälradioside suhtluse alternatiiviks andmesidesuhtlust. Praegustes tiheda liiklusega õhuruumides võib liikluse tiptundidel tekkida häälradioside kanalis saturatsioon, rääkimata asjaolust, et võrreldes praeguse olukorraga, ennustatakse aastaks 2030 kahekordset lennuliikluse kasvu [9]. Kuna lennundus on oma olemuselt äärmiselt konservatiivne, siis paraku ei saa sellised muutused olla kiired, seepärast nähakse ette muudatuste järkjärgulist rakendamist. Eurocontrol'i välja töötatud asjakohaste tasuvusanalüüsides on jõutud tulemusteni, et andmeside tehnoloogiliste täienduste etapiviisiline realiseerimine Euroopa lennujuhtimises on otstarbekas [2:10].

Andmeside leidis lennunduses esimesena kasutust rohkem kui 30 aastat tagasi, kui USA ettevõtte Arinc Inc. töötas välja õhusõiduki side adresseerimis- ja ettekandesüsteemi ACARS (*Aircraft Communications Addressing and Reporting System*) [5]. Põhiline vajadus tol ajal oli muuta kontinentide vaheline lennujuhtimine tõhusamaks. ACARS-il baseeruv FANS (*Future Air Navigation Services*) tehnoloogia on kasutusel ka tänapäeval, laialdasemalt Ühendriikides ja kätte saadav peaaegu kõikjal üle maakera, kuid uus ja ennast tõestanud VDL *mode 2* tehnoloogia võimaldab 13 korda kiiremaid andmeedastuskiirusi [8]. Viimane avab võimalused ka tulevikus suurenevatele lennuliikluse mahtudele.

Andmesidesuhtluse pakkumise kasuks lisaks häälradiosidele räägivad mitmed läbi viidud simulatsioonid ja uurimised. Katsetuste tulemused on näidanud, et lennujuhid suudavad samas õhuruumis kontrollida 11% rohkem lennuliiklust, kui vähemalt 75 protsenti kontrollitavatest lendudest toetavad andmesidesuhtlust [1]. Nii näitasid ka FAA (*Federal Aviation Administration*) poolt läbi viidud katsed William J. Hughes'i Tehnoloogiakeskuses, et lennujuhi ja piloodi vahelise andmeside (*Controller Pilot Data Link Communications* - CPDLC) kasutuselevõtt reaalsete operatsioonide ajal tiheda liiklusega õhuruumis vähendas häälradioside kanali hõivatust 75% [3]. Tänu efektiivsele sidesüsteemile tõusis lennuohutus ja lennujuhtimise jõudlus. Seega on andmeside teenuste pakkumine tõhus vahend häälradioside kanali sideküllastumise vastu ning oluline argument muutes lennujuhtide ja pilootide töö mugavamaks ja tulemuslikumaks.

Antud teema on **aktuaalne**, kuna Euroopa Komisjoni määrusega on suuremal osal Euroopast kohustuslik pakkuda õhk-maa andmeside teenust ülemises õhuruumis, mis Eestis on määratud alates lennutasandist 195. Lõuna- ja Kesk-Euroopa puhul oli tähtajaks 2013. aasta veebruar, samas Põhja-Euroopas (seal hulgas Eestil) alates 7. veebruarist 2015 [6]. Kuna tegemist on suure muutusega lennujuhtimises, siis on oluline, et kõik osapooled saaksid valdkonnast põhjaliku ülevaate. Hetkel puudub vastavast teemast eestikeelne aine.

Käesoleva lõputöö **eesmärk** on luua ülevaatlik materjal õhk-maa andmesidest, uurides vastava valdkonna standardeid ja normdokumente aeronavigatsiooniteenuse osutaja (*Air Navigation Service Provider* – ANSP) seisukohalt, tuues selleks välja olulise osa operatsioonilistest aspektidest ja andmesidesüsteemide ülesehitusest, ning selgitada välja Eesti õhuruumi lendudes õhusõidukite varustatuse tase. Viimase tarbeks uuritakse Lennuliiklusteeninduse ASi (LLT AS) lennuinfot. Veel soovitakse analüüsida, kui suurel hulgal saab tulevikus häälradioside vestlust asendada andmevahetusteenustega ja kuidas mõjutavad rakendatavad muudatused lennujuhtimist Eestis.

Antud lõputöö **koosneb** kolmest peatükist. Esimeses peatükis tutvustatakse õhk-maa andmevahetusteenuseid, pidades silmas nende kasutamise operatsioonilisi aspekte ANSP-i seisukohast. Teises peatükis kirjeldatakse andmesidesüsteeme ja nende komponente, mis toetavad esimeses osas esitletud andmevahetusteenuseid. Kolmas peatükk käsitleb endas töö empiirilist osa, kus analüüsitakse lõputöö koostamise ajal LLT ASst saadud lennuinfo põhjal, kui suur osakaal Eesti õhuruumis aset leidvatest lendudest juba praegu toetab andmeside suhtlust ning kui palju viiakse läbi mõningaid rutiinseid lennujuhtimisprotseduure, mis tänapäeval hetkel leiavad aset häälradiosidet kasutades, kuid tulevikus on asendatavad andmevahetusteenustega.

Töös analüüsitud andmetest sai järeldada, et hetkel on Euroopa määruises ettenähtud andmeside seadmetega varustatud ca viiendik kuni veerand õhusõidukitest, mis

lendavad Eesti ülemises õhuruumis. Märkimisväärne oli ka VDL *mode 2* CPDLC/FANS toega õhusõidukite osakaal, mistõttu soovitab autor pakkuda sellele vastavat maismaa poolset tuge. Edasistel lennuandmete uurimistel viimase osakaalu olulise vähenemise tuvastamisel on mõistlik nimetatud toe pakkumisest loobuda.

Analüüsi tulemusena tuvastati lennuliikluse suur osakaal Eesti ülemises õhuruumis, niisamuti viiakse suures osas läbi neid lende puudutavaid lennujuhtimisprotseduure. Kuna andmevahetusteenustele üleminek vähendab oluliselt hääli-raadioside kanali hõivatust, tõuseb sidepidamise kvaliteet ja edastatud info ühene arusaadavus, siis määрусega kehtestatud muudatuste tulemusena avaldab see Eesti lennujuhtimisele tõenäoliselt väga suurt mõju.

Antud uurimust saab uuesti läbi viia hilisemate lennuandmetega ja jälgida sellest tulenevaid muutusi. Niisamuti saab analüüsi sooritada põhjalikumalt ja rohkemate andmete põhjal, mida antud lõputöö maht ei võimaldanud. Autor näeb töö edasiarendusena ette tulevikus kasutatavate sõnumielementide analüüsi, mille põhjal saab tõsta lennujuhtimise kvaliteeti.

Koostatud eestikeelne materjal aitab üliõpilastel efektiivsemalt omandada teadmisi CPDLC rakendusest ja andmesidesuhtluse põhimõtetest ning mõista õhk-maa andmesidesüsteemide tööd lennunduses üldisemalt. Töö on kasutatav õppematerjalina Eesti Lennuakadeemias side- ja navigatsioonisüsteemide käitajate koolitusel.

K. Lamp. *Õhk-maa andmeside Eestis: lõputöö*, juhendaja Allan Tart. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 20 allikat.

SUMMARY

AIR-GROUND DATALINK SERVICE IN ESTONIA

Key words: CPDLC, control pilot data link communications, FANS, VDL, ATS procedures, message elements, operational aspects, operating methods, flight information in Estonia

Air traffic is increasing steadily year after year. Furthermore, voice communications over radio is setting limits to secure traffic expansion. Eurocontrol analysis results have shown that the phased implementation of air traffic service (ATS) data link applications would be beneficial for airspace users in Europe. Pursuant to Commission Regulation (EC) No 29/2009, Estonian air traffic service provider must ensure the

availability of air-ground communication services by 7th February 2015 [1].

The purpose of this thesis is primarily to compose gross material in Estonian on air-ground data link services and ground systems and to examine the situation in Estonia related to air-ground data link communications.

Providing teaching/learning materials for the Estonian Aviation Academy adds practical value to the thesis.

In Chapter 1 the data link services, their operational aspects and operating methods have been described. In Chapter 2 the data processing systems and communications systems that might be used in Estonia have been briefly described. Chapter 3 includes empiric component where the author analyzes two separate periods of flight information gathered from Estonian Air Navigation Service Ltd (EANS) to ascertain how many flights in Estonian upper airspace nowadays support required datalink communications and how many routine procedures are performed today that are conducted by radio but in the future might be achieved using control pilot data link communications (CPDLC).

The analysis leads to the conclusion that approximately one fifth to one fourth of flights that take place in Estonian upper airspace are equipped with VDL mode 2 CPDLC/ATN devices. Considerable was the amount of VDL mode 2 CPDLC/FANS equipped aircrafts and the author recommends EANS to support the given technology.

Another conclusion drawn was that the majority of flights take place in upper airspace due to which many ATS procedures have to be executed. In the future most of these procedures can be conducted by CPDLC.

Both conclusions indicate that now the changes on the ground station might not affect ATS greatly, but after all the aircrafts have been equipped with proper devices as required by the year 2015 the changes will be vast.

In addition to the research completed within this thesis, the author concludes that further investigation of the subject can be done on subsequent flight information to observe trend, also future usage of the CPDLC message elements can be analyzed to enhance the quality of air traffic control in Estonia.

TUDENGISATELLIIDI ESTCUBE-1 VIBRATSIOONIKINDLUSE TESTIMINE

JANA ŠUBITIDZE
Juhendaja Viljo Allik

Märksõnad: ESTCube-1, vibratsioon, testimine

Satelliidi struktuur koos elektroonikaga peab vastu pidama tugevatele jõududele, mis mõjutavad kanderaketti stardi ajal ning kosmoses. Pärast kanderaketi starti on keeruline parandada tekkinud vigu, mistõttu satelliidi vibratsioonikindluse testimine on äärmiselt oluline. Kuna satelliidi ehitamine on väga kulukas, siis muudab see satelliidi vibratsioonikindluse testimise üheks kõige põhjalikumalt planeeritavaks ja läbiviidavaks testiks.



Lõputöö eesmärk on anda ülevaade Eesti ülikoolides õppivate tudengite poolt ehitatud tudengisatelliidi ESTCube-1 vibratsioonikindluse testimise kohta. Selle eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

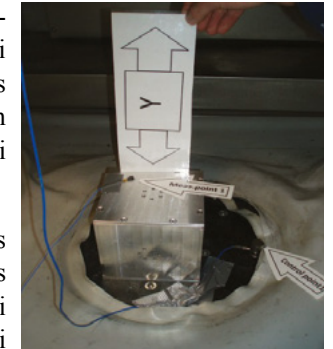
- Mõista kosmosetehnika vibratsioonikindluse testimisel kasutatavaid standardeid.
- Analüüsida, millised vibratsioonikindluse testid on vajalikud kuupsatelliidi testimisel.
- Saada aru, kuidas toimub vibratsioonikindluse testimine.
- Uurida vibratsioonikindluse testimise vajalikkust.

Lõputöö esimene peatükk kirjeldab projekti ESTCube-1 missiooni ja eesmärgi, selgitab vibratsiooni poolt tekitatud mõju ja põhjendab, miks vibratsioonikindluse testimine vajalik on. Teises peatükis esitatakse kuupsatelliidi ESTCube-1 puhul nõutud vibratsioonikindluse testid. Kolmas peatükk võtab kokku satelliidi ESTCube-1 vibratsioonikindluse testimise plaani ja näitab testide järjekorda ning nõutud parameetreid erinevateks testideks. Neljas peatükk kirjeldab ESTCube-1 vibratsioonikindluse testimise tulemusi ja analüüsib vibratsiooni mõjusid erinevatel telgedel.

Lõputöös käsitleb autor järgmisi ESTCube-1 puhul nõutud teste:

- siinustest,
- juhusliku vibratsiooni test,
- šokitest.

Nende testide peamine ülesanne oli testida satelliidi vastupidavust vibratsioonidele, mis mõjutavad kanderaketti erinevate operatsiooni faaside ajal. Testimine toimus ettevõtte Stoneridge Electronics laboris. Joonisel on näha ESTCube-1 rakist, mis on kinnitatud vibratsiooni testimise alusele.



Siinustest toimus kahes osas: esimesel juhul sagedusalas 0–70 Hz, 2 oktaavi minutis ja teisel juhul sagedusalas 70–2000 Hz, 1/3 oktaavi minutis. Juhusliku vibratsiooni testi puhul reguleerib arvuti katse andmete amplituudi ja sagedust, mille tulemusena saadakse reaalne tulemus.

Šokk testi ajal sooritati 3 mehaanilist lööki erineva tugevusega: 100 Hz juures oli löögi tugevus 30 g, 800 Hz ja 10 000 Hz juures 1410 g.

J. Šubitidze. *Tudengisatelliidi ESTCube-1 vibratsioonikindluse testimine:* lõputöö, juhendaja Viljo Allik, konsultant Nele Andresen. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 18 allikat.

SUMMARY AIR-GROUND DATALINK SERVICE IN ESTONIA

Key words: ESTCube-1, vibration, testing

As ESTCube-1 was the first satellite built by students from Estonian universities, and, in general, new to Estonian companies there were many setbacks and challenges to overcome.

Satellites appear serene and fragile but they are complex systems which need to survive the noise and subsequent vibration of the ~145 dB interaction between the rocket engines and launch-pad environment, shock environment as stages separate, turbulent boundary layer excitation, and the list goes on. These forces can induce fatigue and stress during launch and the fact that deployed satellite cannot be easily repaired when it is damaged makes vibration testing requirements very strict. Severity of failure is the greatest where human life is at risk, but satellite design and construction are backed

by multi-million Euro investments and that puts them also at high severity level. [2]

There were mainly two methods how this thesis was written. The first part is theoretical and compiled based on previous mission reports, launcher manuals and topic related materials. The second part combines results and analysis of vibration tests on ESTCube-1 and reports released after testing. The thesis has four chapters: background, general requirements, testing plan, and results.

The purpose of this thesis was to:

- explain why satellite vibration testing is needed;
- show how to carry out vibration tests;
- describe vibration tests on cubesat;
- combine information about vibration testing of ESTCube-1.

All vibration tests, such as sine vibration, random vibration and shock were conducted on ESTCube-1. Primary payload and tether for electric solar wind sail failed together with motor during the first vibration testing session. Motor slab was replaced with PL1 slab and tether spool was renewed.

The testing team was pleasantly surprised that only the tether and the motor failed at the vibration testing while everything else survived complex vibration levels.

ÕHUSÕIDUKI JUHTIMINE

SAATEKS

Tänapäeva elektroonika ja arvutustehnika arengu kiiruse juures on tavaline, et ei autode ega olmetehnika hooldamisel ega parandamisel saa ilma erihariduseta inimene enam midagi olulist ära teha. Lennunduse kohta kehtib see väide aga veelgi laialdasemalt. See tähendab, et keerukat eriharidust on vaja mitte üksnes lennutehnika hooldamiseks, vaid ka selle käitamiseks. Kuigi põhimõtteliselt võib ametpiloodiks saada vaid kutseõpet läbides ja kõrgharidust omandamata, näitab enamiku riikide praktika, et piloodikutega käib üldjuhul siiski kaasas kõrgharidus. See on ka mõistetav – ei soovi ju ükski lennureisija, et tema lennuki piloot on üksnes tuim nuppude vajutaja. Pigem kujutatakse pilooti ette targa, osava, leidliku ja kiireid ning õigeid otsuseid vastu võtva tugeva isiksusena. Kõrgharidus on seejuures kindlasti üheks vajalikuks aspektiks võimaldamaks piloodil kujuneda isiksuseks, millisena teda vaimusilmas kujutlevad lennureisijad.

Eesti Lennuakadeemia on just üks selliseid õppeasutusi, mis võimaldab omandada nii piloodikutset kui ka kõrgharidust. Enamik meie piloodikoolituse läbinutest omandabki kõrghariduse. Huvitav on märkida, et omakorda väga paljud nendest, kes algselt on asunud vaid piloodikutse omandamisele, otsustavad siiski lisaks ka kõrghariduse omandada. See näitab kõrghariduse väärtustamist meie noorte pilootide hulgas ja küllap on see ka üks aja nõude peegeldusi.

Ent mille poolest siis kõrgharidusega inimene erineb keskharidusega inimesest? Mis peaks olema see kvalitatiivne hüpe, mida ei saa mõõta vaid omandatud teadmiste mehaanilise hulgaga ega kutsetöös omandatud kogemusega? Selleks on iseseisva teadusliku mõtlemise oskus. Iseseisva selles mõttes, et inimene suudab oma teadmiste ja oskuste baasil probleeme sõnastada ja neid lahendada. Teadusliku aga selles mõttes, et lahendused võtavad arvesse looduseadusi ja teiste poolt selles valdkonnas tehtut. Iseseisva teadusliku mõtlemise kujundajana on õppeaine „Uurimistöö“ üks olulisemaid. Kuigi rakenduskõrghariduse võib omandada vaid riigieksameid sooritades ja seega ilma lõputööd koostamata, on õppeaine „Uurimistöö“ siiski hädavajalik kui aine, mille põhieesmärgiks on tutvustada üliõpilastele teadustööle esitatavaid nõudeid, töömetoodikat ja kõike muud, mis iseseisva teadusliku tegevuse edendamiseks tarvis.

Eesti Lennuakadeemia lennukoolitusosakond on üle läinud õppekavale, kus stuudiumi lõpuks lõputööd koostada pole vaja, sest piloodikandidaatidel tuleb sooritada neliteist riikliku tasemega eksamit. Seega jääb õppekavas just uurimistööle põhiülesanne üliõpilaste suunamiseks iseseisva teadusliku mõtlemise teele. Senine praktika näitab, et uurimistöö täidab seda ülesannet väga hästi. Kuigi uurimistöid on erineva tasemega nagu lõputöidki, võib täheldada, et parimad uurimistööd ei jää oma tasemelt

ja rakenduslikult väärtuselt lõputöödele põrmugi alla. Ja seda vaatamata sellele, et uurimistöö juriidiline staatus on lõputöö omast madalam ja tavapäraste professionaalidest retsensentide asemel kasutame lõputööde hindamisel üliõpilastest opponente. Aine „Uurimistöö“ lõpphindamisel võetakse arvesse ka üliõpilase oponeerimise ja retsensiooni kirjutamise oskust.

Käesolevas kogumikus publitseerime lennukoolitusosakonna üliõpilaste poolt 2013. aastal koostatud kahe parima uurimistöö ja kahe parima lõputöö kokkuvõtted. Loodame sama traditsiooni jätkata ka edaspidi ja samuti loodame nii oma osakonna kui ka kogu lennuakadeemia üliõpilaste tööde taseme jätkuvat tõusu.

Jaan Susi (PhD)

Lennukoolitusosakonna teooriakoolitusjuht

TULEVIKU ÜLEHELIKIIRUSEGA REISILENNUKID

MÄRT KIVIMÄE
Juhendaja Kaimar Lomp

Märksõnad: ülehelikiirusega lendamine, ülehelikiirusega reisilennukite arengusuunad, tuleviku lennukite projektid

Sissejuhatus

Teise maailmasõja järgne lennunduse areng oli nagu olümpiamängud: *Citius. Altius. Fortius* – kiiremini, kõrgemale, tugevamini. Reisilennukite hulgas oli selle arengu tipuks 1976. aastal välja tulnud Concorde, millega sai lennata vähemalt kaks korda kiiremini ja kõrgemal, kui enamiku teiste reisilennukitega. „Tugevuse“ osa eest hoolitsesid neli järelpõletiga turboreaktiivi, mis said lennuki edasipaikamisega hästi hakkama. Concorde lendas oma turuosal sisuliselt ilma konkurentsita, jäädes lõpuks 2003. aasta sügisel väljateenitud vanaduspensionile. Võrreldes teiste lennukitega muudab Concorde'i veel eriliseks fakt, et see oli ainus reisilennuk maailmas, mida ei vahetanud välja uuem, kiirem ja parem versioon. Peale Concorde'i muuseumieksponaadiks muutumist jäi lennundusturu kiirem ots vabaks, samas ei kadunud nõudlus kiiruse järele kuhugi – teenusepakkujaid lihtsalt enam ei olnud. Kuni tänaseni, täpselt kümme aastat hiljem, ei ole keegi seda turuosa suutnud uuesti hõivata. Tegemist on omamoodi taandarenguga, anomaaliaga tänapäeva maailmas, mis teebki ülehelikiirusega reisilennundusest huvitava uurimisteema. Lisaks eelnimetatud situatsioonile mängis uurimistöö teema valikul rolli ka autori huvi kiirete lennukite vastu.

Uurimistöö eesmärgiks on välja selgitada, kas ülehelikiirusega reisilennukite naasmist on oodata lennundusturule. Millisel kujul võib see tagasitulek teoks saada ning kaua peab ootama, et uuesti ülehelikiirusega reisilennukeid lendamas saaks näha? Reisilennukiks (antud töö mõistes) on inimeste veoks ühelt lennuväljalt teisele mõeldud lennuk, mis ei ole sõjalise otstarbega lennuk ega demilitariseeritud versioon mõnest sõjalennukist.

Lõputöö koostamise aluseks on võrdleva näidisjuhtumi meetod (i.k. *comparative case studies*). Kogutud on võimalikult palju infot erinevate momendil väljatöötamisel olevate tuleviku ülehelikiirusega reisilennukite projektide kohta. Iga projekteeritav lennuk on välja toodud eraldi alapealkirja alla, kus kirjeldatakse võimaluste piires tema ülesehitust ja kavandatud näitajaid. Töös on soovitud välja tuua iga konkreetse disaini head ja halvad küljed, võimalusel toimub eri lennukite vaheline võrdlus.

Sisu ja tulemused

Hetkel on laual palju projekte, üks kaugemal kui teine, kuid nende hulgas on märgata vähe progressi. Kuigi on lihtne leida mitmeid erinevaid väljapakutud projekte, mis võiksid tulevikus sünnitada mõne ülehelikiirusega reisilennuki, on raske nende kohta detailsemat informatsiooni saada. Kas püütakse oma innovaatilist disaini kaitsta võimalike konkurentide eest, või polegi projekt kaugemal kui vaid ilus idee paberil – seda on raske kindlaks teha. Autor jagab tuleviku lennukite projektid ajaliselt kolme rühma: esiteks need lennukid, mille arendustööga on kõige kaugemale jõutud ja mida võib juba lähiajal oodata; teiseks, suure tõenäosusega kaugemas tulevikus realiseeruvad projektid, ning kolmandaks, projektid, mille võimalikku realiseerumist on ajalisel plaanis raske hinnata. Lõputööst selgub, et kõik arendajad ei liigugi päris samas suunas – kuigi kõigi ettevõtete eesmärk on turule tuua lennuk, mis oleks kiire ja piisavalt ökonoomne. Mõned projekteerijad on võtnud suuna hetkel kättesaadavaid tehnoloogiaid kasutades võimalikult lihtsa lennuki projekteerimisele, samas kui enamik üritab siiski välja töötada uusi tehnoloogiaid muutmaks oma lennukit kiiremaks, vaikselt ökonoomsemaks.

Töös välja toodud lennukite parimaks näiteks on USA firma Aerion poolt projekteeritav SSBJ. Tegemist on pigem „lihtsate meetoditega kiiresti“ arengusuuna esindajaga, kuigi ka nende disainieesmärkide hulka kuuluvad õhutakistuse ja müra vähendamine ning aerodünaamika, mis oleks võrdselt efektiivne nii üle- kui ka allahelikiirusega lendamisel. Loodetud efektiivsus eri lennurežiimidel kavatakse saavutada NLF (Natural Laminar Flow) – laminaarse voolamise tehnikat kasutades. Aerioni poolt välja pakutud tiivakuju on kumerate esi- ja tagaservadega trapets, mis peaks tagama suure efektiivsuse nii ülehelikiirustel kui ka kiiretel allahelikiirustel.

Vastavalt Aerioni poolt avaldatud materjalidele võiks SSBJ välja näha selline:



Pilt 1. Aerion SSBJ

Nagu pildilt 1 näha, meenutab kavandatud lennuk väliskujult suuresti tänapäeval kasutuses olevaid ärilennukeid. Samas, lugedes mõningaid Aerioni kodulehel avaldatud andmeid tulevase lennuki kohta, on arusaadav, et tegemist on väga erineva lennukiga:

- Tippkiirus M1.6
- Maksimaalne stardikaal 90 000 lb (40 500 kg)
- Reisikaugus rohkem kui 4000 NM (7408 km)

Mootorite osas on planeeritud kaks Pratt & Whitney JT8D-200 mootorit, mille väljatootamisega P&W hetkel tegeleb. Planeeritud tõmme oleks 19 600 lb (8820 kg). Oluline on ka mürataseme vastavus nõuetele ning saastennormidest kinnipidamine. Lennuki lennulagi on planeeritud kõrgusele 51 000 ft (sama, mis enamikel tänapäeva ärilennukitel), et vältida lendu osoonikihi.

Üks põhjuseid, miks Aerioni projekt on väga lootustandev, on fakt, et lennuki disainimisel pole püütud üle oma varju hüpata. Aerion üritab seatud eesmärgi saavutada võimalikult lihtsate vahenditega – ei vaja nad lennuki kere jaoks eksotilisi materjale ega ka seninägematuid tootmistehnoloogiaid. Kere konstrueeritakse kasutades erinevat kombinatsiooni alumiiniumist ja komposiitmaterjalidest – põhiliselt süsinikfiibrist. Vältimaks kiirest lennust tingitud mehaanilist erosiooni, kaetakse tiibade esiservad ja muud sellest mõjutatud osad metallikihiga (nt titaan). Tänu konstruktsiooni teostatavusele pole ilmselt raske tulevikus leida tootjat, kes lennukit konstrueerima hakkaks, kuid seda peab siiski veel mõnda aega ootama, sest arendustöö veel endiselt käib.

Lähituleviku ühelikiirre lennukite osas kirjeldatakse töös veel Supersonic Aerospace International-i poolt projekteeritavat QSST-X. Kaugema tuleviku lennukitest: Boeing Icon II, Lockheed Martin “Green Supersonic Machine“, Reaction Engines Ltd A2 ja Hyper Mach Sonic Star. Teadmata tulevikuga ühelikiirre lennukite osas leiab kirjeldamist Tupolevi Tu-444 ja veel vaid idee staadiumis olevad projektid JAXA-lt, Sukhoilt ja Gulfstreamilt.

Lisaks lennukitele on lõputöö kolmandas peatükis antud lühiülevaade tuleviku lennukitele mõeldud mootoritest. Neljas peatükk teeb varasemast kokkuvõtteid ja seal kujuneb ka töö üheks eesmärgiks olnud ühelikiirusega reisilennunduse tulevikuprognos.

Kokkuvõte

Sissejuhatuses esitatud küsimusele: „Kas on oodata ühelikiirusega reisilennukite naasmist lennundusturule?“ võib kindlalt vastata, et jah, on küll. Lähima kümne aasta jooksul on lennundusturule oodata kaht ühelikiirusega äriklassi reisilennukit.

Nendeks on Aerion'i SSBJ ja Supersonic Aerospace Internationali QSST-X. Mõlemad esindavad ühelikiirusega reisilennukite arenduse eri suundi – Aerioni eesmärk on lihtsate ja kättesaadavate vahenditega tagada suur kiirus, samal ajal kui SAI püüab keeruka aerodünaamikaga vähendada lööklaine mõju maapinnal. Mõlema ühiseks eesmärgiks on siiski efektiivne kütusesäästlik lend nii üle- kui allahelikiirustel, ning lennukid, mis ei vajaks käitamiseks eritingimusi. Esimesena jõuab turule siiski ilmselt Aerion, arvestades hiljutisi edukaid aerodünaamika katsetusi ning elujõulist finantseerimiskava. Turule on lubatud tulla aastaks 2020.

M. Kivimäe. *Tuleviku ühelikiirusega reisilennukid:* lõputöö, juhendaja Kaimar Lomp. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 93 nimetust.

SUMMARY SUPERSONIC AIRLINERS OF THE FUTURE

Key words: supersonic flight, research goals for future supersonic airliners, future airplane projects

This research paper focuses on supersonic airliners being currently developed. The first reason why the author decided to do research on this topic is quite simple: firstly, this year marks the tenth anniversary of Concorde's retirement and no replacement has come along. The world that was once capable of shifting passengers from one place to another at twice the speed of sound has been limited to subsonic speeds for a decade. In the rapidly developing world where people want to go faster and faster every day, this reversal looks like an anomaly – and every anomaly is worth investigating. Secondly, the author is kind of obsessed with speed, thus the research on the topic of fast planes comes somewhat naturally.

The purpose of this research paper is to find out if a return of supersonic airliners is expected and in what form and when they will return. An airliner in the context of this paper is an airplane designed specifically to carry passengers from one place to another, military and demilitarized airplanes are not considered. This paper is compiled using the comparative case studies method: different supersonic concepts being currently developed are described and compared if possible.

Based on the research the author has drawn the following conclusions: supersonic airliners are expected to return in 10 years. The first to reopen the market will most probably be small supersonic business jets. After the first planes have become successfully established on the market, bigger and faster airliners will be expected.

Research also reveals that developers based on their project goals can be divided into two groups: the ones who want to fly fast using relatively simple and currently available technologies, others are investing into development of complex systems and technologies which aim to reduce the sonic boom and improve overall efficiency.

VÄSIMUSE RISKIJUHTIMISE SÜSTEEMI VÄLJATÖÖTAMINE JA RAKENDAMINE ÄRILENNUNDUSETTEVÖTTES AS PANAVIATIC

MART KRIKMANN
Juhendaja Kristi Seppa

Märksõnad: väsimus, ärilennundus, lennumeeskondade töö- ja puhkeaja normid, lennutööaeg, väsimuse riskijuhtimine (*FRM*), väsimuse riskijuhtimissüsteem (*FRMS*), väsimusriskide maandamine, puhkeajad

Sissejuhatus

Üheks oluliseks ajendiks selle lõputöö teema valikul oli autori isiklik lennutöökogemus ärilennunduses ja aja jooksul tekkinud tõdemus, et väsimus on siiani jäänud üheks oluliseks ja alahinnatud (varjatud) riskifaktoriks lennunduses. Oma pilooditöö jooksul ärilennunduses on tihti ette tulnud olukordi, kus hetkel igapäevaselt kasutatav ja ajas pidevalt reguleeritud-kaasajastatud lennumeeskondade töö- ja puhkeajaga reguleeriv süsteem on osutunud ebatäiuslikuks, põhjustanud sõltuvalt olukorrast ja positsioonist mitmetimõistmist ning mitte alati pole suutnud anda ühest ja selget lahendust tekkinud töö- ja puhkeajaprobleemidele.

Siiani tuleb sel teemal ette diskussioone nii firmasiseselt pilootide seas, firma erinevate osakondade või positsioonist lähtuvate seisukohtade vahel, suhtlemisel lennundusvõimudega.

Erinevaid arusaamu praegu firmas tööd reguleerivate normdokumentide tõlgendamisel võib ka nimetada üheks märgiks uue süsteemi loomise vajadusest senikasutatavale kõrvale, kuna igal pool, eriti aga lennunduses, peaksid reeglid olema võimalikult selged ja üheselt mõistetavad.

Samale probleemile on viimastel aastatel pööranud suurt tähelepanu IATA, ICAO, EASA ja IFALPA juhtivad ametnikud. Kuni tänaseni on meeskonnaliikmete väsimusriske püütud traditsiooniliselt maandada peamiselt maksimaalsete lennutundide ja tööaja normeerimise ja piirangute teel. See on aga osutunud lihtsustatud traditsioonilis-ajaloolisteks arusaamaks väsimuse tekkest ning võtab aluseks ainult töö ja puhkeperioodide omavahelised suhted ja vaheldumise. Kaasaegsed teaduslikud uuringud ja lähenemised une kvaliteedi ja inimkeha ööpäevase tsükli (WOCL) madalseisu vahemiku kohta annavad uue dimensiooni arusaamade kujundamisel väsimusest ja sellest tulenevate riskide maandamisel. FRMS-i väljatöötamist ja juurutamist tsiviillennunduses võib nimetada märkimisväärseks verstapostiks eelnimetatud teadmiste rakendamisel, see omakorda loob lennuoperaatoritele võimalused töötada ohutult ja samas ka efektiivselt.

Probleem on tänapäeval vägagi aktuaalne kogu lennunduses – seda nii lendurite, maapealsete teenistuste töötajate kui ka seadusandikke akte väljatöötavate organite seisukohast. Veelgi komplitseeritumaks muutub see aga ärilennunduses probleemi spetsiifikat silmas pidades. Ärilennunduse eripära ja sealt tulenevaid lisariske vaadeldakse töös põhjalikumalt eraldi peatükina.

Lõputöö **eesmärgiks** oli välja töötada lähtealused väsimusriskide juhtimissüsteemi (FRMS) loomiseks ja rakendamiseks AS-s Panaviatic. Lähtudes praktilisest lennutöö kogemusest firmas ja ärilennunduse eripäradest, analüüsib töö autor töötajate väsimusriskidega seotud kitsaskohti ja nende tekkepõhjuseid ning pakub välja lahendusi väsimusriskide maandamiseks. Alusena on kasutatud uut ICAO, EASA, IATA ja IFALPA poolt 2011. aastal esitletud lähenemisviisi ja metoodikat väsimusriskide maandamiseks (*FRMS Implementation Guide for Operators, July 2011, 1st Edition*)

Oma töös toob autor esile ja analüüsib väsimusriskidega seoses tekkinud probleeme ja kitsaskohti ärilendudele spetsialiseerunud lennuettevõttes AS Panaviatic, eesmärgiga leida nende tekkepõhjuseid ning välja pakkuda lahendusi nende juhtimiseks. Praktilisest lennutööst firmas ja ärilennunduse spetsiifikast lähtudes toob töö esile iseloomulikud kitsaskohad tõestamaks ebatäiusi hetkel kasutatavas seaduste ja normide süsteemis, mis peaksid välistama nn „väsinud“ töötajate sattumise tööülesannete täitmisele. Autor analüüsib AS-s Panaviatic käesoleva ajani kogutud statistilist materjali (aluseks kogutud Quality Non-Conformance Reports (QNCR) ja firmas kasutatava lendude planeerimis- ja statistikaprogrammi „Leon-Aero“ andmed), hetkel firmas lennutööd ja puhkeaega reguleerivaid normdokumente ja siseregulatsioone, et sel alusel tehtud riskijuhtumite statistika ja analüüsi tulemusena leida seaduslikult, finantsiliselt ja praktikas aktsepteeritavad lähtekohad vastumeetmete väljatöötamiseks.

Töö käik ja sisu

Töö **esimene** osa annab ülevaate AS-s Panaviatic hetkel toimivast töökorraldusest ja siseregulatsioonidest, kasutusel olevatest tööaja skeemidest ja töötajaskonnast. Samas antakse ülevaade ka aja jooksul firmas esinenud probleemidest ja kitsaskohtadest töö- ja puhkeaaja normide järgimisel ning tuuakse esile mõningad vastuolud hetkel lennunduses kehtivate töö- ja puhkeaega reguleerivate EV ja EL seadusandlike aktide vahel.

Teine osa annab põhjalikuma ülevaate ärilennunduse eripäradest ja sealt tulenevatest lisariskidest väsimuse tekkeks võrreldes regulaarse teostavate lennuettevõtjatega.

Tegutsemisel ärilennundusturul on olulisi erinevusi võrreldes regulaarse teostavate lennuettevõtjatega ja paneb meeskondadele reisi(de) kestel palju lisakohustusi. See aga omakorda suurendab tunduvalt väsimusest tekkivaid riskiohte meeskondadele, samas on maandamismeetodite väljatöötamine keerukam, seda peamiselt just lennugraafikute ettearvamatus ja lühiajalise etteplaneerimise tõttu

Kolmas osa käsitleb üldteoreetilisi ja teaduslikke seisukohti väsimusest, selle sümptomitest ja põhjustest, keskendudes viimastele teaduslikele uuringutele. Paljus on tuginetud viimastel aastatel ilmunud juhtivate lennundusteadlaste uuringutele ja seisukohtadele (Philippe Cabon, May 2011, Mick Spencer, June 2011, Dr. Alexander Gundel, Institute of Aerospace Medicine, Aug. 2011, Moebuse Aruanne. 2008)

Samas peatükis vaadeldakse väsimust puudutavaid erinevaid aspekte nii üldisemas igapäevases füsioloogilises kontekstis kui ka kitsamalt lennunduses, ja antakse lühiülevaade erinevatest väsimuse määratlustest, selle liikidest ja tekkepõhjustest. Samas analüüsitakse ka erinevate väsimusliikide ohtlikkust lennunduses ja meetodeid väsimusriskide maandamiseks. Eelnimetatud teadlaste aruanded ja uuringud olid samas ka aluseks peagi (2013. a teisel poolel) EASA poolt planeeritavate uute EU määrustena ilmutavate lennumeeskondade töö- ja puhkeaaja normide ja reeglite väljatöötamisel.

Töö **neljas** osa annab ülevaate ICAO, IATA, EASA ja IFALPA poolt 2011. aastal välja töötatud FRMS-süsteemist ja selle toimimise põhimõtetest. Süsteemi kontseptsioon kätkeb endas uut lähenemist ja filosoofiat väsimusriskide maandamisel.

Lennundusturul püsimise üheks põhitingimuseks on alati olnud (operaatori seisukohast lähtudes) maksimaalse kasumi saamine minimaalsete kuludega, seda eriti viimastel aastatel seoses majanduslangusega (odavlennufirmade arvu märgatav kasv, lennureisijale pakutavate mugavus- ja hinnaklasside mitmekesisustumine jne). Paljud lennufirmad nägid väljapääsu kulude kokkuhoiuks läbi lennumeeskondade arvu minimeerimise ja koormuse maksimeerimise, kasutades ära kehtivate seaduste tolerantust ja jättes arvestamata sealjuures tekkivate riskidega lennuohutusele. Üheks tagajärjeks ülaltoodule oli lennumeeskondade väsimusest põhjustatud riskide kasv ja regulatsioonide puudumine nende maandamiseks.

Neid ohumärke nähes alustasid ICAO, IATA, IFALPA ja EASA vastumeetmete väljatöötamist juba 2009. aastal. Tulemuseks oli nende poolt 2011. aastal esitletud uus lähenemine väsimusriskide maandamisel – Fatigue Risk Management Systems ehk FRMS – väsimusriskide juhtimise süsteemi loomine ja ellurakendamine. See süsteem kujutab endast pigem teadust ja filosoofiat, mis põhinevad viimastel teaduslikel uuringutel väsimusest ja selle tekkest lennunduses, samas jagab ta operaatoritele ka praktilisi seisukohti ja tegevusjuhendeid lennuohutuse tagamiseks lähtudes väsimusriskide maandamise seisukohast.

Töö **viies** osa sisaldab ülevaadet riskianalüüsi käigust ja selle tulemustest ärilennundusfirmas AS Panaviatic ning sealt lähtuvatest võimalikest meetmetest väsimusriskide maandamisel. Väsimusriskide maandamise meetmete väljatöötamisel on autor püüdnud maksimaalselt lähtuda juba uutest peagi ilmutavatest EL määruseprojekti sätetest „Lennumeeskondade töö- ja puhkeaaja muudatused“ ja kasutada uut filosoofiat

ja lähenemisviise meeskondade väsimusriskide maandamisel. Need meetmed võiksid edaspidi olla aluseks FRMS-programmi väljatöötamisel AS-s Panaviatic.

Tulemused ja järeldused

Analüüsi käigus selgus, et kõige tõsisemaid probleeme valmistavad lennumeeskondadele just hetkel EL liikmesriikidele delegeeritud lennu- ja tööaja piirangute ning puhkeaja nõuete täitmine, s.t regulatsioonid, mis on praegu jäetud siseriiklike eeskirjade reguleerida:

1. tööaja pikendamine lennuaege puhkeaja tõttu;
2. vaheajaga lennutööaeg;
3. valves olek;
4. lühendatud puhkeaeg;
 - ✓ ajavööndite läbimist kompenseeriv puhkeaeg;
 - ✓ meeskonna repositsioneerimisega seotud lennud.

Praegu on mitmed lennu- ja tööaja piirangute ja puhkeaja nõuete elemendid jäetud siseriiklike eeskirjade reguleerida. Nende sätete ühtlustatud standardiga aidataks kaasa ühtse kõrge lennuohutuse taseme saavutamisele. Viimastel aastatel on suurt tööd tehtud nimetatud küsimuste ohutusaspektide kavandatavate regulatiivsete lahenduste leidmiseks, mis praeguses õigusraamistikus on jäetud liikmesriikide pädevusse. Edasise ühtlustamise regulatiivseks vahendiks on siin valitud sertifitseerimistingimused (CS). Paindlikkus on tagatud, kui liikmesriigid vajavad spetsiifiliste käitamisvajaduste üksiklahenduste jaoks heakskiitu. Nende lahenduste kulude mõju peaks olema minimaalne, kuna käitajad võivad oma lennutegevuse konkreetse liigi kohta kavandada individuaalseid lennuaja spetsifikatsiooniskeeme juhul, kui tõendatakse võrdväärse ohutustaseme olemasolu. See ei ohusta ühtlustamist, sest amet sekkub heakskiitmisprotsessi käigus. Sellise lähenemisviisiga tagatakse piisav paindlikkus, piirates samal ajal kulude mõju ja ühtlustades suurel määral ohutusstandardeid.

Kuna 2013. aastast muutub väsimuse riskijuhtimissüsteemi väljatöötamine ja rakendamine kohustuslikuks kõigile ärilennunduses tegutsevatele käitajatele, siis loodab autor, et töös esitatud teese ja analüüsi tulemusi saab kasutada alusmaterjalina AS-i Panaviatic väsimusriskide maandamise programmi koostamisel ja edaspidisel arendamisel. Töö lisas on koostatud ka FRMS näidisprogramm, mida edaspidise arendamise korral võiks kasutada igapäevase praktilise abivahendina lendude planeerimisel ja läbiviimisel väsimust ennetavate protseduuride osas. See omakorda oleks üheks lisagarantiiks kõrgema lennuohutustaseme saavutamisel.

Töö lisana on koostatud ka FRMS-i näidisprogramm (inglise keeles), mida hetkel võib vaadelda kui algmaterjali, kuid edaspidise arendamise korral võiks see muutuda igapäevaselt kasutatavaks abivahendiks praktilisel lendude planeerimisel ja läbiviimisel väsimust ennetavate protseduuride osas, mis omakorda annaks firmale ühe lisagarantii kõrgema lennuohutustaseme saavutamiseks.

M. Krikmann. *Väsimuse riskijuhtimissüsteemi väljatöötamine ja rakendamine ärilennundusettevõttes AS Panaviatic: lõputöö, juhendaja Kristi Seppa.* Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud 62 allikat

SUMMARY

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF FATIGUE RISK MANAGEMENT SYSTEM FOR BUSINESS AVIATION COMPANY PANAVIATIC LTD

Key words: fatigue, commercial aviation, flight, duty and rest time standards, Fatigue Risk Management System (FRMS), fatigue mitigation

The aim of this diploma thesis is to develop the basis for creating and implementing Fatigue Risk Management System (FRMS) at Panaviatic Ltd. Relying on work experience in aviation in the company and on the knowledge of the specifics of business aviation, the author of this thesis will analyse the reasons of shortcomings in fatigue risk management among employees and provides solutions for managing those risks.

The first chapter will give an overview of the current work management at Panaviatic Ltd and its employees, but also of the problems and conflicts that have occurred in the company. Additionally, it explores the specifics of business aviation compared to companies providing scheduled flight services.

Focusing on the latest scientific studies, the second chapter looks at theories of fatigue and how fatigue affects aviation operations.

The third chapter gives an overview and basics of Fatigue Risk Management System developed in 2011 by ICAO, IATA and IFALPA.

In the fourth chapter the author gives an overview of the course of risk analysis and its results. Based on this research, the author also discusses possible measures for countering fatigue risk. These methods could serve as the basis for developing the FRMS programme at Panaviatic Ltd.

As from 2013 the development and implementation of the FRMS is mandatory for all operators in commercial aviation, the author hopes that this thesis and the results of the analysis can be used as the basis for establishing and further developing of the FRMS programme at Panaviatic Ltd. The FRMS model programme included in the appendix of the thesis could also be applied as a practical tool for flight planning and managing procedures for mitigating fatigue risks. This, in its turn, could provide an additional warranty for achieving a higher level of flight safety.

MAAILMA LENNUNDUSAJALUGU TUTVUSTAV ÕPPEAINE EESTI LENNUAKADEEMIA ÜLIÕPILASTELE

MATS-JOONAS KULLA
Juhendaja Mart Enneveer (PhD)

Märksõnad: lennundusajalugu, lennundusajalugu tutvustav õppeaine, õppeaine kavand

Uurimistöö kirjutamise ajal on Eesti Lennuakadeemia õppekavades olemas järgnevad lennundusajalooga seotud ained: „Sissejuhatus lennundusse“ ja „Sissejuhatus lennundusse II“. Esimene neist tutvustab Eesti lennunduse ajalugu ja Eesti tuntumaid lennundusettevõtteid ning teine käsitleb kaasaegse lennunduse arengutendentse ja nende seost Eesti lennundusega (Sissejuhatus lennundusse... 2013, Sissejuhatus lennundusse II... 2013). Kuid nii kõigist õppekavadest kui ka vabaainete hulgast puudub maailma lennunduse ajalugu tutvustav õppeaine.

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli välja selgitada, kui oluline on maailma lennundusajaloo tundmine mitmekülgse piloodihariduse seisukohast ning luua esialgne kavand maailma lennundusajalugu tutvustava õppeaine läbiviimiseks Eesti Lennuakadeemias. Kavandi koostamisel tugines autor küsitlustest saadud informatsioonile ning lennundusajalooga seotud kursuste ainekavadele ja kirjeldustele.

Uurimistöö on jaotatud kaheks suuremaks peatükiks. Esimeses peatükis keskendutakse Eesti Lennuakadeemia õhusõiduki juhtimise eriala üliõpilaste ning õppetööga seotud endiste ja praeguste elukutseliste pilootide seas läbi viidud küsitluste tulemustele. Uuritakse tudengite huvi antud õppeaines osalemise vastu ning nende ettepanekuid selle korraldusliku külje kohta. Lisaks selguvad pilootide seisukohad aine vajalikkuse, sisu ning struktuuri osas. Teises peatükis koostab autor esialgse kavandi maailma lennundusajalugu käsitleva õppeaine läbiviimiseks Eesti Lennuakadeemias.

Maailma lennundusajalugu tutvustava õppeaine üldise struktuuri loomiseks vajaliku informatsiooni saamiseks viis autor läbi kaks kirjalikus vormis küsitlust. Esimene küsimustik, mis sisaldas seitset valikvastustega ning ühte avatud küsimust, oli suunatud Eesti Lennuakadeemia (ELA) piloodi eriala üliõpilastele ning sellele vastas 26 inimest. Teine küsimustik, mis sisaldas kuut valikvastustega ning ühte avatud küsimust, oli mõeldud ELA õppetööga seotud endistele ja praegustele elukutselistele pilootidele ning sellele vastas 11 inimest.

Õppeaine kavandi ning sisu planeerimisel lähtus autor peamiselt pilootide ning üliõpilaste ettepanekutest, küsitlustest saadud informatsioonist ning ainete „Sissejuhatus lennundusse“ ja „Sissejuhatus lennundusse II“ ainekavadest. Loengute ettevalmistamiseks sobivate materjalide valimisel lähtuti allika kättesaadavusest,

selgusest, asjakohasusest ning teema ülesehitusest. Lisaks koostas autor üldstruktuurist parema ülevaate andmiseks näidisainekava, mille leiab antud uurimistöö lisast 3.

Pilootide ja üliõpilaste seas läbi viidud küsitlustest selgus, et maailma lennundusajaloo tundmist peetakse lennundusalase hariduse vajalikuks osaks ning tähtsaks ka silmaringi ja maailmapildi avardamise seisukohast. Ühtlasi näitasid küsimustikes antud vastused üliõpilaste suurt huvi antud valdkonda käsitlevas aines osalemise vastu. Seetõttu leidis autor, et maailma lennunduse ajalugu tutvustava õppeaine puudumine Eesti Lennuakadeemia ainete hulgast on probleem.

Probleemi lahendusena koostas autor esialgse kavandi antud õppeaine läbiviimiseks Eesti Lennuakadeemias. Kavandi esimeses pooles käsitleti korralduslikku külge ning anti soovitusi selle efektiivsemaks läbiviimiseks. Lisaks tutvustati aine eesmärgi ja hindamiskriteeriume.

Kavandi teises pooles kirjeldas autor loengute üldist ülesehitust ning neis käsitletavaid ajaperioode, teemasid ja lennundusvaldkondi. Seejuures tugineti peamiselt üliõpilaste ja pilootide soovitudele ning ettepanekutele, küsitlustest saadud informatsioonile ja lennundusajalugu käsitlevatele kirjanduslikele ja interneti allikatele. Lisaks lõi autor välja loengute ettevalmistamiseks sobivad materjalid, mille valimisel lähtuti allika kättesaadavusest, selgusest, asjakohasusest ning teema ülesehitusest.

Käesolev uurimistöö loob üldised eeldused maailma lennundusajalugu tutvustava õppeaine jõudmiseks Eesti Lennuakadeemia vabaainete hulka. Aine täies mahus õpetamiseks on siiski vaja antud teemaga edasi tegeleda. Tuleb koostada plaankonspektid konkreetsete loengute läbiviimiseks ning täpsustada korraldusliku külje aspekte.

M. J. Kulla. *Maailma lennundusajalugu tutvustav õppeaine Eesti Lennuakadeemia üliõpilastele:* uurimistöö, juhendaja M. Enneveer (PhD). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 70 allikat.

SUMMARY

COURSE ON HISTORY OF WORLD AVIATION FOR STUDENTS OF ESTONIAN AVIATION ACADEMY

Key words: history of aviation, subject course on history of world aviation, course outline for history of world aviation

The purpose of this research paper is to study the importance of having some basic

knowledge of the history of world aviation from the viewpoint of an aircraft pilot and to create an extended course outline which can be used as a basis for teaching world aviation history.

In the first chapter the author analyses the results of surveys which were conducted among piloting students and both current and former professional pilots. The surveys showed that the basic knowledge of the history of world aviation is considered to be an important part of aviation education. Furthermore, it was revealed that the majority of students were interested in participating in the respective course. At the time of writing the research paper there was no such course in the curricula of Estonian Aviation Academy. Therefore, it is clear that this kind of course is needed.

In the second chapter the author creates the outline of the course on the history of world aviation. The first part of the second chapter covers the basic structure, grading criteria and objectives of the subject. At the same time, recommendations are given to make teaching of this course more efficient. A more detailed structure of individual lectures and the description of topics suggested (time allocation) are given in the second part of the second chapter. Suitable learning materials, which were chosen for their accessibility, their relevance and ease of use, are brought out in every subchapter.

While this research paper covers the general aspects of the course on the history of world aviation, in-depth planning of individual lessons is still needed before the aforementioned subject can be taught at Estonian Aviation Academy.

EESTI LENNUAMETI KERGLENNUKI PILOODILOA NAVIGATSIOONI TEORIAEKSAMI SISU UUENDAMINE

ELISE VEBER
Juhendaja Leho Roots (MSc)

Märksõnad: navigatsiooni teooriaksam, EASA-FCL teoriakoolituse õppekavad, Eesti LA navigatsiooni teooriaeksami küsimuste pank

Sissejuhatus

Eesti Lennuameti navigatsiooni teooriaeksami praegune küsimustepank on kasutusel olnud 2002. aastast. Küsimustepank koosneb 100-st valikvastusega küsimusest, mida on aja jooksul minimaalselt korrigeeritud. Uurimistöö koostamise ajal lähtub eksam JAR-FCL teooriakavast, mida kavatakse asendada uuenenud EASA-FCL teooriakavaga.

Käesoleva uurimistöö esimeseks eesmärgiks on Lennuameti kasutatava navigatsiooni teooriaeksami küsimustepanga analüüsimine, et selgitada, kui palju see kattub uue EASA-FCL teooriakava nõuetega. Teiseks eesmärgiks onksamipanga uuendatud sisu väljatöötamine. Küsimuste kaasajastamisega tahetakse luua eksamit, mis oleks mitmekesisem ning kontrolliks lisaks pilootide teoreetilistele teadmistele ka praktilisi oskuseid.

Töö koosneb neljast peatükist. Esimeses osas selgitatakse kerglennuki piloodiloo omanike õigusi ja kohustusi ning selgitatakse, miks on oluline rakendada eksamineerimisel erapiloodi teooriakava nõudeid. Teine peatükk keskendub olemasolevaksamipanga kõrvutavale analüüsile EASA-FCL teooriakavaga. Selles peatükis analüüsitakse töö teise eesmärginaksamipanga küsimusi sisulise uuendamise vajaduse kontekstis. Kontrollitakse ka küsimustes esinevaid sõnastus- ja faktivigu ning antakse hinnang olemasoleva eksami tasemele. Kolmandas peatükis kirjeldatakse uute küsimuste koostamise metoodikat. Näidatakse moodustatud küsimuste jagunemist alateemade kaupa ja lisatakse selgitus, missugused täiendused on sisse viidud. Viimane osa annab ülevaate uuest, mitmekülgsemast ja sisuliselt mahukamast eksamist. Lisatud on lühikirjeldus sellest, milleks peab uut eksamit sooritades valmis olema, millised on vajalikud abivahendid eksamil.

Tulemused

Olemasolevat navigatsiooni teooriaeksami küsimustepanka hakati kasutama alates 2002. aastast. Lennuameti andmetel pole küsimusi seniajani põhjalikult uuendatud.

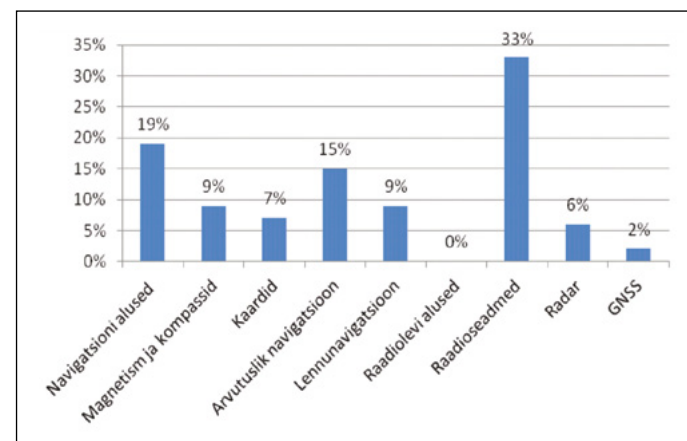
Tehtud on väiksemaid sõnastuse korrektuure nii küsimuste kui ka vastuste osas, et muuta eksamit selgemaks ja täpsemaks.

Õppeaine „Navigatsioon“ Eesti Lennuameti küsimustepangas on 100 valikvastusega küsimust, millest arvutiprogramm valib eksamil juhuslikult välja 20 küsimust. Eksami eduka sooritamise lävendiks on 75% ehk eksami läbimiseks tuleb 20-st küsimusest vähemalt 15-le vastata õigesti.

Eesti Lennuameti kasutatav navigatsiooni teooriaksam lähtub JAR-FCL 1 nõuetest. 5. detsembril 2011 võeti kasutusele EASA-FCL, milles on ära määratud uus erapiloodi teoriakoolituse õppekava. Uurimistöö koostamisel lähtutakse uutest normidest.

Käesoleva uurimistöö koostamise algfaasis võrdles töö autor JAR-FCL ja EASA-FCL erapiloodi koolituse teooriakavasid. Koolituse teooriakavad olid erineva ülesehitusega, kuid sisult üsna sarnased, kattes kõik olulisemad põhiteadmised ja tähtsamad teemad. Teatavad erinevused siiski ilmnesid, näiteks oli lisandunud üks täiesti uus teema, „Raadiolevi alused“ (*Basic Radio Propagation Theory*), mida varasemalt polnud sisse toodud, rohkem oli aga erinevusi alateemades. Võrdlusest järeldus, et JAR-FCL-is on enamik osasid rohkete alapunktidenalahti kirjutatud, näitena võib tuua „Lennu planeerimine“ (*Flight Planning*), „Praktiline navigatsioon“ (*Practical Navigation*) ja „Lennukaartide viitematerjal/ kaardi lugemine“ (*Chart Reference Material / Map Reading*). EASA-FCL jätab koolitusprogrammi teemades koolitajatele rohkem tõlgendamisruumi.

Autor tegi kindlaks, kui palju kattub praegune küsimustepank EASA-FCL-i „Navigatsiooni“ PPL teooriakavas välja toodud põhiteemade ning nende alajaotustega. Selleks kõrvutati olemasoleva eksami küsimused uute nõuetega, jaotati need vastavate teemade kaupa ning saadud tulemused kajastati joonisel 1.



Joonis 1. PPL ainekava teemade protsentuaalne jaotumine lennuametiksamipangas

Eeltoodu põhjal (vt joonis 1) on näha, et kõik teemad peale „Raadiolevi alused“ on vähemal või rohkemal määral käsitletud. Täpsema ülevaate saamiseks kontrolliti ka seda, kui põhjalikult on kaetud alateemad.

Järgnevalt tuuakse välja suuremad puudused alateemades.

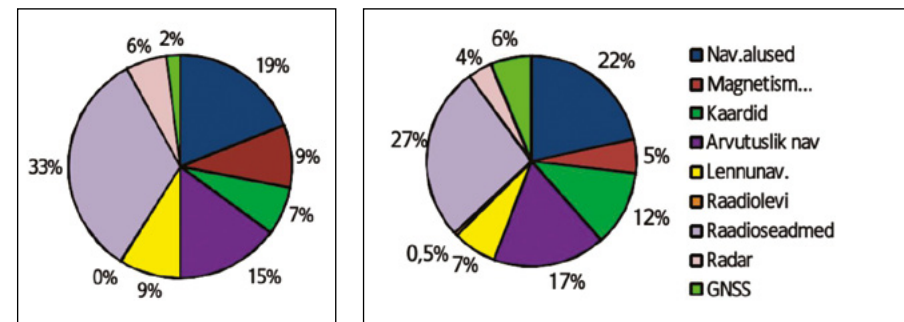
Pole moodustatud küsimusi koordinaatide kasutamise ja nendega arvutamisega seotud ülesandeid. Kajastamata on küsimused, mis hõlmaks päikese tõusu, koitu ja hämarikku, mis on olulised päevase VFR lennu planeerimise seisukohalt. Puuduvad arvutuslikud ülesanded, sealhulgas ka navigatsiooni ringkalkulaatoriga seonduv, mis on piloodi esmane vahend lennu planeerimiseks. Praeguneksamipank ei kontrolli piloodi praktilisi oskusi kaardi kasutamisel, nii lennu planeerimisel ja marsruudi ettevalmistamisel, kui ka jooksva navigeerimisel lennu vältel. Puuduvad navigatsiooni jaoks baasilised ülesanded distantide ja suundade mõõtmise, ohutu lennukõrguse planeerimise, leppemärkide tundmise ja muu olulise kohta. Eksami koostamisel on välja jäänud teekonnavajadusest kõrvalekalduv, tuule kiiruse- ja suunaparanduste arvutamise ja teekonna kiiruse paranditega seonduv. GPS-navigatsiooniga seonduv on selle arengut ja täiendava (sekundaarse) navigatsiooni seadmena kasutamise suurt ulatust arvestades alakäsitletud küsimuste mahu osas. Nimetatud teema kaetus on ka sisuliselt ebapiisav ja küsimustepangas olev ei kontrolli vajalikke, praktilisi GPS-navigatsiooni teadmisi.

Uurimistöö käigus uuriti põhjalikult läbi Eesti Lennuametis kasutusel olev navigatsiooni teooriaeksami küsimustepank. Eesmärgiks oli tuvastada küsimused, milles esineb puudusi pidades silmas sõnastuse selguse- ja faktivigu. Küsimustes esines ka mõisteid ning termineid, mis vajasis selguse mõttes ingliskeelsete vastete lisamist. Analüüsi käigus leiti 43 küsimust, mis vajasis parandusi, muutmist või tervenisti eemaldamist. Uurimuse käigus leitud vead parandati ning kõikidele kohendamist vajavatele küsimustele lisati juurde täpsustav selgitus selle kohta, missuguseid muudatusi nad vajaksid.

Töö autor palus Eesti Lennuametilt navigatsiooni teooriaeksami tegemise ja sooritamise seonduvat statistikat eesmärgiga anda hinnang selle raskusastmele. Lisaks õnnestus võrdlusmomenti tarbeks arvandmeid saada ka teiste sooritamist vajavate eksamite kohta. Selgus, et navigatsiooni teooriaeksami sooritusaste on kõige madalam. See võib tuleneda asjaolust, et õppematerjal on peamiselt ingliskeelne ja seega pole materjalidest täielikult aru saadud. Eksami läbimist võisid muuta keerulisemaks ka küsimustes esinevad vead. Navigatsiooni eksami raskust võis suurendada ka praeguse eksami puhul vähene tervikülesannete lahendamise tähtsus. Ülesanded võiksid sisaldada navigatsioonivahendite ja kaardi kasutamist, mis kinnistaks praktilise harjutamise käigus ka alusteadmisi.

Uute küsimuste moodustamisel võeti arvesse praeguse eksami analüüsi tulemusi. Eesmärk oli lisada praktilisi ülesandeid ning koostada mitmekesisemad teadmisi kontrolliv eksam. Valikvastustega küsimuste vormistamisel lähtuti JAA välja antud dokumendist, mis selgesõnaliselt loetleb küsimuste koostamise nõuded. Lisaks võeti arvesse materjalid, mida lennundusettevõtte oma koolitusprogrammides kasutavad.

Uuesksamipangas on kokku 190 küsimust, mis moodustub 87-st vanaksamipanga ja 103-st uuest juurde lisatud küsimusest (vt joonis 2).



Joonis 2. Vana ja uueksamipangas olevate küsimuste jaotumine teemade kaupa

Uuesksamis pannakse suuremat rõhku ühikute teisendamisele, praktilistele koordinaatidega arvutamise ülesannetele, kursside leidmisele ja arvutamisele ning VFR-lennu planeerimise seisukohalt olulistele päikesetõusu ja -loojangu tabelitega töötamisele. Kontrollitakse pilootide praktilisi oskusi kaardi käsitlemisel, sellelt distantide ja suundade mõõtmisel ning leppemärkide tundmisel. Lisatud küsimused katavad põhjalikumalt piloodi esmase lennuplaneerimise vahendi, navigatsioonikalkulaatori, käsitlemist kontrollitavaid teadmisi. Teemade rõhuasetuse muutmiseks koostati rohkem VOR-süsteemiga seotud küsimusi. Uue nüansina toodi sisse erinevate raadioseadmete näidikute praktilise kasutamisega seotud ülesanded. Uuesksamis on rohkem ka GPS-teematikaga seonduvaid küsimusi.

Uurimistöö lõpus kirjeldatakse, millega tuleb arvestada, kui sooritada uut eksamit. Lisatud on autoripoolsed soovitusel aine „Navigatsioon“ eksami läbiviimiseks ning küsimustepanga edaspidiseks uuendamiseks.

Kokkuvõte

Uurimistöö kajastab Eesti Lennuametis olemasoleva navigatsiooni tasemeeksami küsimustepanga analüüsimist, selle uuendatud sisu väljatöötamist kaasaegse ja mitmekesisemalt teadmisi kontrolliva eksami tarbeks ja selle vastavusse viimiseks uue EASA-FCL teooriakava nõuetega.

Esimene peatükk on sissejuhatuseks tööle ja annab ülevaate kergõhusõiduki piloodiloo taotlemise nõuetest ning loaga kaasnevatest õigustest. Olulise alapunktina tuuakse välja põhjendused, miks on asjakohane kasutada eksami uuendamisel erapiloodi koolituseks mõeldud teooriakava.

Teises osas analüüsitakse olemasoleva eksami küsimustepanka. Esmalt kõrvutati küsimustepank EASA-FCL aine „Navigatsioon“ teooriakavaga, et teada saada, kui põhjalikult on põhiteemad ja alateemad kaetud. Selgus, et olulised alateemad ei ole kajastatud. Teiseks analüüsitiksamipanga küsimusi sisu uuendamise kontekstis ja sõnastuse terminoloogia, selguse- ning faktivigade osas. Kolmandaks anti hinnang praegu kasutatavaleksamile.

Kolmandas peatükis on välja toodud põhiline metoodika, mille alusel hakati uusi küsimusi koostama, samuti võeti arvesse teises peatükis antud hinnangut. Kokku lisandus 103 küsimust, mis jaotati vastavalt teemade kaupa, et näidata, missugused täiendused on sisse viidud.

Viimane peatükk annab ülevaate uuest eksamist, mis koosneb 190-st küsimusest. Lisatud on uue eksami tutvustus ehk mida peab arvestama seda sooritama minnes.

Töö lisad sisaldavad kehtiva JAR-FCL ja uue EASA-FCL teooriakavasid ning JAA dokumenti valikvastustega küsimuste koostamise nõuetest. Lisadesse on paigutatud ka vana küsimustepanga parandused ning uued küsimused, kuid konfidentsiaalsuse tõttu ei ole neid köidetud käesolevasse uurimistöösse.

Kokkuvõtlikult võib öelda, et käesolev töö täidab sissejuhatuses püstitatud eesmärged. Küsimustepank on analüüsivalt võrreldud EASA-FCL ning JAR-FCL osas ning välja toodud vajalikud muudatused lähtudes EASA-FCL nõuetest. Olemasolevat küsimustepanka on analüüsitud kaasajastamise aspektist vaadelduna ning on esitatud töö autoripoolsed puudused praeguse küsimustepanga osas ja ettepanekud ning muudatused. Välja on toetatud ja vormistatud uuendatud ning mitmekesisem küsimustepank, juhindudes olemasoleva küsimustepanga eeltoodud analüüsist, millest saab otsest kasu Eesti Lennuamet ja Eesti „väike“lennundus.

E. Veber. *Eesti Lennuameti kerglennuki piloodiloo navigatsiooni teooriaeksami sisu uuendamine*: uurimistöö, juhendaja Leho Roots (MSc). Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 29 allikat.

SUMMARY

THE RENEWAL OF ECAA LIGHT AIRCRAFT PILOT LICENCE THEORETICAL KNOWLEDGE EXAMINATION IN AIR NAVIGATION

Key words: theoretical knowledge examination in air navigation, EASA–FCL theoretical knowledge programme, ECAA database for theoretical knowledge examination in air navigation

The aim of this research paper is to analyse the present Estonian Civil Aviation Administration examination database in subject course of Navigation. The purpose is to modify it for creating a more up-to-date and diverse exam. Another objective is to bring the current examination in compliance with the new requirements for EASA-FCL theoretical knowledge examination.

The first chapter is an introduction to this work. It gives a review of the requirements and rights for applying for light aircraft pilot licence. In addition, arguments are given why it is reasonable to use private pilot's theoretical knowledge programme for renewal of the exam.

In the second part the author analyses the examination database. Firstly, the database is compared with the EASA-FCL theoretical knowledge programme to find out if all the topics and subtopics are covered. It turned out that they were not. Secondly, the database is checked for errors in formulation, facts and technical terms. It is also checked for finding questions which are outdated, irrelevant and have less priority in testing pilot's knowledge. Lastly, the current exam is evaluated.

In the third chapter the bases for creating new questions are described. The modifications made were added.

The last chapter gives an overview of the new, more varied and practical exam. The author provides an introduction of what to expect from the exam and gives suggestions as how to efficiently conduct database renewal in the future.

LENNUNDUSETTEVÕTTE KÄITAMINE

SAATEKS

Lennundustegevuse korralduse valdkonna arengut mõjutasid olulisel määral Eesti lennundusettevõtete optimeerimise protsessid, ohutuse juhtimissüsteemide (*Safety Management System, SMS*) juurutamine lennundusettevõtetes ning Eesti kõrghariduses toimuvad muutused, sh trend juurutada ettevõtluskompetentsi õpetamine õppeprotsessi.

Osakonna uurimistöö osas keskenduti teoreetilise õppe ja praktika sidumisele, mis on aktuaalne ja uudne Eesti kõrgharidusmaastikul majandus- ja juhtimisala erialadel, sh tagades laia spetsialiseerumise valiku oma lõpetajatele reageerides operatiivselt lennundusettevõtete muutlikele vajadustele. Probleemi lahendamisel on Eesti Lennuakadeemia jaoks võtmeteguriks koostöö lennundusettevõtetega. Siinjuures tuleb eraldi välja tuua produktiivne ja kahepoolset kasulik koostöö AS Tallinna Lennujaamaga õppepraktika korraldamisel möödunud õppeaastal.

Koostöös teiste Eesti Lennuakadeemia osakondadega arendatakse majanduse ja ettevõtluse õppemoodulit, pakkudes võimaluse ka teiste Eesti Lennuakadeemia erialade üliõpilastele osaleda ülalmainitud mooduli õppeainetes. Selle arendussuuna elluviimisel tuginevad tööandjate soovitudele. Käsil on ka õppemetoodiline töö projektõppe käivitamiseks ELA tehniliste erialade õppekavades arendamiseks üliõpilaste ettevõtlikkust.

Oluliseks uurimissuunaks, mis on välja kujunemas lennundustegevuse korralduse osakonna eestvedamisel, on Eesti kui lennutranspordi poolt vaadatuna väikese ja väheatraktiivse turu ligipääsetavuse tagamine. Üldteada on fakt, et Eesti majanduse konkurentsivõime üheks väga tähtsaks puuduseks on lennuühenduste vähesus. Lisaks sellele – Euroopa transpordi visiooni järgi aastaks 2050 – vähemalt 90% Euroopa sõitudest mõõdetuna ajas uksest ukse ei tohi kesta rohkem kui 4 tundi. Selle uurimissuuna edasiarendamiseks esineti ettekandega rahvusvahelisel konverentsil, kus muuhulgas oli eesmärgiks partnerite leidmine tulevaseks uurimistööks. Osakonna töötajad osalesid ka Eesti transpordiarengukava 2014–2020 koostamisel liikuvusjuhtimise ja avaliku teenuse tööühikute töös.

2013. aastal lõpetas väikese nõudluse ja käivitatud kõrgharidusreformi tõttu oma eksistentsi avatud õppe õppekava nii rakenduskõrghariduse kui ka magistriõppe tasemel. Sellel aastal kaitsti kolm magistritööd, millest kaks keskendusid lennuohutust puudutavatele teemadele. Ühe magistritöö autoreferaat esitatakse ka selles kogumikus.

Allan Nõmmik (MSc)

Lennundustegevuse korralduse osakonna juhataja kt

TALLINNA LENNUJAAMA REISITERMINALI ENERGIAKULU ANALÜÜS

OLIVER SIITAM

Juhendaja Allan Nõmmik (MSc), konsultant Tõnu Mühle

Märksõnad: lennujaama energiatarbimine, kulude vähendamine, taastuvenergia

Sissejuhatus

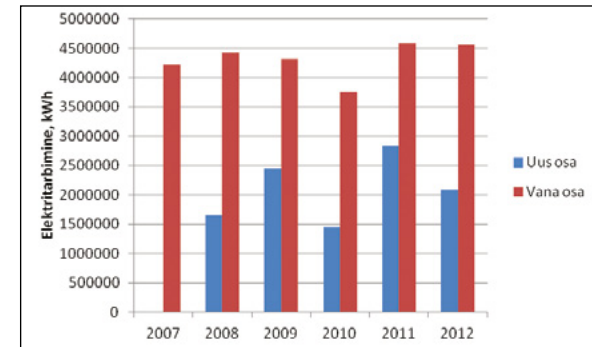
Lennutranspordi osatähtsus tänapäeva kiires maailmas on suur, see võimaldab lennata ühest Euroopa otsast teise väheste tundidega. Eestis prognoositakse lennutranspordi kasvu kuni 5% aastas. Kõige rohkem kasvab just odavlennu sektor, suurenedes kuni 35 %-ni. Antud olukord paneb lennujaamad võistleva selle nimel, et taolised ettevõtted kasutaksid nende teenuseid. Odavlennuettevõtete üheks kriteeriumiks lennujaama valikul on tasude suurus. Lennujaama seisukohalt tähendab see lisaks mitteleonnunduslike tulude suurendamisele ka kulude vähendamist. Tallinna lennujaama reisitermini hoone on suurim energiatarbija, kasutades ligi 60% kogu lennujaama energiast. See omakorda tähendab, et antud hoone energiatõhusamaks muutmisel oleks saavutatav energiasääst suurim.

Hoonete energiavajaduse vähendamine on olnud aktuaalne alates 1970-ndatest aastatest. Antud ajajärgul oli taastuvenergiaallikate kasutamine ehitusel kallis ning seetõttu paljudele kättesaamatu. 21. sajandil on alternatiivenergiaallikad muutunud odavamaks ning seepärast on hakatud neid kasutama üha rohkem energiasõltumatuse tagamiseks. Sellest tingituna on Euroopa Liit asunud vähendama CO₂ emissiooni just läbi taastuvenergiaallikate suurema kasutamise. Samuti on seatud eesmärgiks olemasolevate hoonete energiasäästlikumaks muutmine.

Lõputöö eesmärgiks on uurida Tallinna lennujaama reisitermini energiatarbimist vahemikus 2007–2012 ning teha ettepanekuid kulude vähendamiseks. Lisaks leitakse Tallinna lennujaamale sobivaim alternatiivenergiat põhinev lahendus, mis oleks majanduslikult ning geograafiliselt otstarbekas. Samuti tutvustatakse hoonete energiatõhusust reguleerivaid nõudeid ning antakse ülevaade reisitermini hetkeolukorrast.

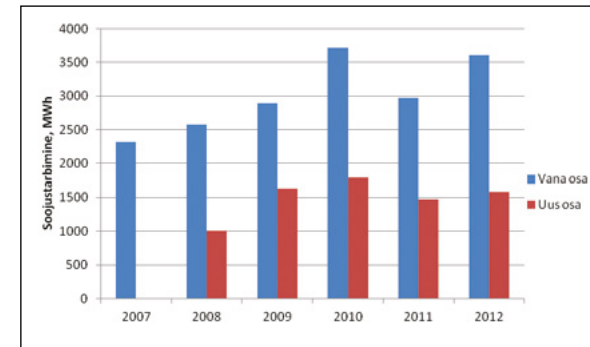
Sisu ja tulemused

Lõputöös vaadeldi eraldi soojus- ning elektritarbimise muutust perioodil 2007–2012. Analüüsi käigus selgus, et antud perioodil oli reisitermini vanas ning uues osas elektritarbimine kõige suurem 2011. a ning väikseim 2010. aastal (joonis 1).



Joonis 1. Reisitermini elektritarbimine, kWh

Suurema tarbimise põhjuseks on peamiselt kõrgem õhutemperatuur suvekuudel, mis toob kaasa suurema konditsioneeride kasutamise. Vähenenud tarbimise peamiseks põhjuseks leiti olevat lennuoperatsioonide arvu kahanemine. Soojusenergia andmete analüüsi tulemusena selgus, et reisitermini vanas osas oli suurim tarbimine 2010. ning väikseim 2011. aastal (joonis 2).



Joonis 2. Soojustarbimine, MWh

Uues osas tarbiti kõige rohkem soojusenergiat 2010. ning kõige vähem 2009. aastal. Põhjus, miks energiatarbimine muutus, leiti olevat keskmiste välisõhutemperatuuride erinevus antud perioodil.

Väga tähtsaks kriteeriumiks lisaks energiakulude vähendamisele on sisekliima hoidmine. Põhjusel, et reisitermini kasutatakse ööpäevaringselt, on ebamõistlik suurendada energiasäästu soojusmugavuse arvelt ning seetõttu antud lahendust lõputöös ei käsitletud. Lõputöös toodi peamiste lahendustena elektrikulu vähendamiseks välja seniste lampide asendamine LED-tüüpi valgustitega ning automaatikaseadmete paigaldamine eskalaatoritele. Soojuskulu vähendamiseks leiti parim päikesekaitsevahend, milleks osutus automatiseeritud päikeseruloo.

Energiakulu on võimalik vähendada ka taastuvenergiaallikate kasutamisega. Lõputöö raames analüüsi kolme peamist alternatiivenergiaallikat: fotoelement, päikesekollektor ning maaküte. Kõigi kolme puhul võrreldi nende maksumust ning arvestuslikku tasuvusaega. Kõige väiksema tasuvusajaga leiti olevat maakütte kasutamine. Fotoelemendi tasuvusajaks on 12, päikesekollektori puhul 10 ning maakütte puhul 5 aastat. Kõige suuremat investeeringut vajab maakütte rajamine, kuid antud lahendust oleks võimalik kasutada nii jahutus- kui kütteallikana. Parima lahendusena leiti maakütte ning päikesekollektori koosrakendamine.

Kokkuvõte

Tallinna lennujaama reisiterminali hoone on suurim energiatarbija, kasutades ligi 60% kogu energiast lennujaamas. Analüüsi käigus püüti leida põhjuseid, miks tarbimine on erinevate aastate lõikes muutunud. Peamiselt võrreldi tarbimise muutust lennuoperatsioonide arvu muutumise ning klimatoloogiliste nähtustega. Vaadeldi eraldi reisiterminali uut ja vana osa, kuna tegemist on erinevatel perioodidel ehitatud hoonetega.

Tallinna lennujaama reisiterminali hoone on väga suure energiatarbimisega, hoonetele on arvutatud 2012. aasta tarbimise põhjal energiamärgis klassiga H. See näitab, et teiste samaväärsete hoonete seas tarbib antud hoone rohkem energiat. Hoolimata sellest, et reisiterminal on hiljuti renoveeritud, vajab hoone ülevaatamist soojuskadude leidmiseks.

O. Siitam. *Tallinna lennujaama reisiterminali energiakulu analüüs:* lõputöö, juhendaja Allan Nõmmik (MSc), konsultant Tõnu Mühle. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 41 allikat.

SUMMARY ANALYSIS OF ENERGY CONSUMPTION IN TALLINN AIRPORT PASSENGER TERMINAL

Key words: airport energy consumption, cost reduction, renewable energy

This graduation thesis has two main objectives: one is to analyze energy consumption in Tallinn airport passenger terminal during 2007–2012 and give suggestions to reduce costs. The other objective of this graduation thesis is to find the most appropriate renewable energy source, which would be economically and geographically reasonable.

In the rapidly developing world, aviation transportation plays a big role. It gives an opportunity to fly from one end of Europe to another. In Estonia, the growth of flight sector is expected to be up to 5% annually. Low cost carriers' growth is rapid – up to 35%. All this has created a situation where different airports compete to attract low cost carriers.

This condition puts pressure on airports to decrease their airport fees. It means that airports have to increase non-aviation income and decrease their costs. In Tallinn airport the passenger terminal is the biggest energy consumer, by up to 60%. When making the analysis, the author found reasons why the energy consumption varied in different years. The energy consumption was mainly compared to flight operations and climatic conditions in different years.

In this graduation thesis, heat and electricity consumption during 2007–2012 were analyzed separately. In the passenger terminal the electricity consumption was highest in 2011 and lowest in 2010 (Figure 1).

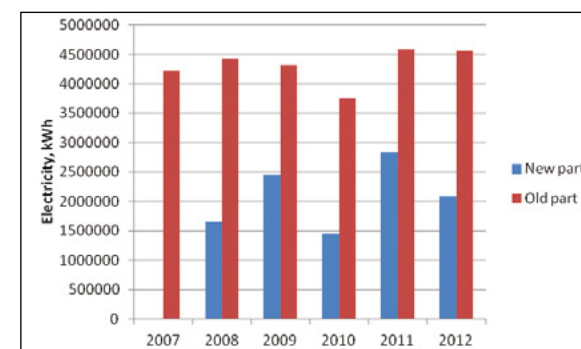


Figure 1. Electricity consumption, kWh

The increase in electricity consumption in 2011 was caused by higher temperatures in summer. In 2010, the main reason for low electricity consumption was linked to the decrease in flight operations.

In the old part (BCD) of the passenger terminal, the heat consumption was highest in 2010 and lowest in 2011 (Figure 2).

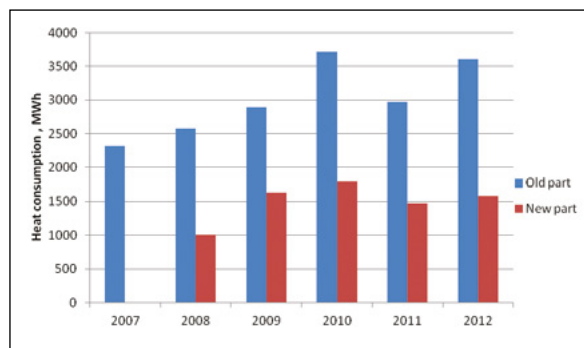


Figure 2. Heat consumption, MWh

However, in the new part (A) the highest heat consumption occurred in 2010 and the lowest in 2009. The main reason for the heat energy consumption variation is linked to varying winter temperatures.

Research for this thesis enabled to suggest two solutions for cutting energy costs: the first is to replace all lights with LED bulbs and install automatic equipment for the escalators. The second solution – to use the sunroof that will enable to decrease power consumption in summertime.

One additional solution for cutting the energy cost is to use renewable energy sources. In this thesis three main renewable energy sources have been analyzed: photovoltaic panel, solar thermal system, and geothermal heating. The shortest breakeven period can be received by using the geothermal heating system. The author finds that the best solution for Tallinn airport can be achieved by combining the geothermal and solar thermal heating systems.

MEESKONDADE PLANEERIMISE SÜSTEEM JA SEDA MÕJUTAVATE TEGURITE ANALÜÜS AS ESTONIAN AIR NÄITEL

INGRID ÜPRUS

Juhendaja Kurmo Annus (MBA), konsultant Anton Önnik

Märksõnad: meeskonnaliikmete planeerimine, meeskonnaliikmete töö- ja puhkeaja reeglistik, EU-OPS alapeatükk Q, kollektiivleping, meeskonnaliikmete koolitus, meeskonnaliikmete planeerimine Estonian Airis.

Sissejuhatus

Euroopa Lennufirmade Assotsiatsioon (AEA) rõhutab, et õhustranspordil on Euroopa mobiilsuse, heaolu ja poliitilise sidususe juures põhjanev osa. Õhustransport aitab Euroopa majandusel areneda ja kasvada ning suureneval Euroopal lõimuda. [3] *[siin ja edaspidi viide kasutatud kirjanduse loetelule]*

Viimase kümne aastaga on lendude ja reisijate arv tõusnud märkimisväärselt. 2010. aastal teenindati EL-i rohkem kui 450 lennujaamas üle 750 miljoni reisija. Aastaks 2030 on oodata nende numbrite kahekordistumist. [8]

Kogu maailmas tehakse jõupingutusi, et suurenevate lennumahtude juures tagada ohutu lendamine, oma rolli mängib siin ka meeskondade ettevalmistus ja planeerimine. Meeskondade planeerimine tagab lendava koosseisu nõuetekohase töölerakendamise mitmete reeglite täitmise kaudu. Eelkõige peab planeerimisel jälgima erinevaid töö- ja puhkeaja nõudeid, kuid vähemtähtis pole ka korraliste treeningute läbimise tagamine ning jälgimine.

Inimtegevusel on kandev roll lennuohutuses. Lennutegevusest põhjustatud väsimus, unevaegus ja ööpäevase rütmi rikkumine võib halvendada inimese töövõimet, tähelepanuvõimet ja sellega otseses seoses ka lennuohutust. [39]

„Lennundus on väga reglementeeritud valdkond, mille konservatiivsed reeglid on tihti vere hinnaga kirjutatud“. [17]

Kõik teevad pingutusi, et lennundus oleks ohutum, kuid selle teeb keerulisemaks lennumahtude kasv. [4]

Enamik õnnetusi juhtub õhukütõusmisel ja maandumisel. Kui mahtude hulk tõuseb 20%, siis teoreetiliselt võib õnnetuste arv kasvada sealjuures 44%. [4]

Lennufirmadele on väga tähtis rakendada lendavat personali tööle maksimaalselt ja efektiivselt, kuna see on üks kallimaid tööjõuressursse firmas. Näiteks 2012. aastal

hõlmas lendava personali kulu AS Estonian Air käibest 12,7% [18]. Ettevõtte peab oma tegevuses leidma tasakaalu ohutuse ja majanduslike aspektide vahel.

Suurte muutuste (lennukitüübi vahetus, lennukipargi suuruse muutus, lennuplaani muutus vms) korral firmas on väga oluline tagada sobilik meeskondade arv. Kuna nii pilootide (ing *Flight Crew*) kui ka salongipersonali (ing *Cabin Crew*) koolitus võtab aega, siis peavad muutuste plaanid olema võimalikult täpsed, et planeerimisosakond saaks arvutada vajamineva meeskondade arvu ning treeningosakond koostada koolitusplaani. Meeskondade planeerimise osakond on väga suure strateegilise tähtsusega. Nii liiga suur meeskondade arv kui ka meeskondade vähesus võib firmale majanduslikult osutada väga kulukaks. Igapäevatoos vastutab planeerimisosakond selle eest, et kõik lennud oleksid nõuetekohaselt mehitatud ning tõrgete korral leitaks operatiivselt parim lahendus.

Planeerimisosakond on kohustatud täitma nii meeskondadele kehtivaid rahvusvahelisi ja riigisiseseid nõudeid kui ka kõiki kehtivaid töö- ja puhkeaja reegleid.

Antud lõputöö analüüsib dokumente, mis kehtestavad nõuded töö- ja puhkeaegadele ning vaatleb planeerimisprotsessi korraldust AS-is Estonian Air.

Algallikadena on kasutatud erinevaid õiguslikke dokumente, AS Estonian Air käsiraamatuid, erialast kirjandust ning intervjuusid.

Lõputöö, mille eesmärk on analüüsida meeskondade planeerimist ning seda mõjutavaid faktoreid, on jagatud neljaks suuremaks peatükiks. Püstitatud eesmärgi lahendamise jaoks on vajalik:

- analüüsida töö- ja puhkeaja nõudeid ning neid reguleerivaid dokumente;
- kirjeldada nõuetekohast meeskondade koolitust;
- analüüsida tegureid, mis mõjutavad planeerimist;
- kirjeldada AS Estonian Air planeerimisüksust ja anda ülevaade hetkel kasutusel olevast planeerimissüsteemist.

Uurimise käigus peaks sealjuures selguma ka lennuki nõuetekohase mehitamise protsess ja sellega seotud ajafaktor.

ASi Estonian Air planeerimisüksusel tuleb igapäevaselt mehitada 4 Embraeri (E170) ja 3 Bombardieri (CRJ 900 NextGen) reaktiivreisilennukit [15].

Töös kasutatakse mitmeid ingliskeelseid lühendeid ja termineid, kuna dokumentatsioon on valdavalt ingliskeelne ning paljuski puudub vastav eestikeelne terminoloogia.

Sisu

Töö on jagatud neljaks peatükiks:

1. Töö- ja puhkeaja reeglid ja nende analüüs

Kõige suurema osa meeskondade planeerimisel moodustab töö- ja puhkeaja reeglite jälgimine ning täitmine. Nii planeerijad kui ka meeskonnaliikmed vastutavad selle eest, et töö- ja puhkeaeg oleks nõuetekohaselt täidetud ning töö- ja puhkeaja reegleid ei oleks rikutud [22].

Töö- ja puhkeaja piiranguid reguleerivad dokumendid on:

- EU-OPS 1 alapeatükk Q (*EU-OPS subpart Q*);
- Eesti Vabariigi töö- ja puhkeaja seadus (TPS);
- Lennundusseadus (LS);
- lennutegevuse käsiraamatu osa A (OM-A);
- kollektiivlepingud (KL).

2. Meeskondade väljaõpe ja jätkukoolitused

Üks väga tähtis osa planeerimisest on meeskonnaliikmete treeningute planeerimine, mida tehakse koostöös treeningosakonnaga. Selleks, et omada õigust teha tööd mingil lennukitüübil, peavad nii piloodid kui ka salongipersonal läbima mitmesuguseid tööga seotud koolitusi.

3. Planeerimist mõjutavad tegurid ja nende analüüs

Planeerimisel tuleb arvestada mitmesuguste piiravate ning kitsendavate teguritega, sealhulgas:

- treeningutega seotud kitsendused;
- tervislikest põhjustest tulenevad kitsendused;
- mitmesugused muud piiravad olukorrad;
- planeerimist lihtsustavad tingimused.

4. Planeerimine AS Estonian Air näitel

Selles peatükis vaadeldakse ASi Estonian Air planeerimisosakonna ülesehitust, töö eripärasid ja erinevaid etappe planeerimisel. Samas antakse ülevaade abiks olevatest planeerimissüsteemidest ning nende võimalustest.

Kokkuvõte

Ettenägemisoskus ja hea planeerimine on võtmeküsimuseks lennukompanii efektiivsel tegevusel. Tähtis on leida vastused küsimustele, kuidas leida võimalikult

optimaalsed lahendused oma meeskondade planeerimisel ning tööle rakendamisel. Tänapäeva tihedas konkurents ei saa ükski lennufirma lubada endale üleliigseid lennumeeskondi ehk kulusid, ega ka ärajäänud lendude tõttu pettunud kliente, kuna pole piisavalt meeskondi, et katta müüdud lende.

Planeerimisüksusel on lennundusosakonnas keskne roll. Planeerijad on need, kes tagavad otseselt lendude nõuetekohase mehitamise. Töö planeerimisosakonnas on küllaltki pingeline, nõudes planeerijatel kiiret mõtlemist ning tegutsemist. Vastutust tuleb kanda nii iga päev kui ka pikemaajaliste plaanide tegemisel ja teostamisel.

Tagada tuleb mitmesuguste õiguslike regulatsioonide täitmine. ASs Estonian Air kasutusel olev planeerimissüsteem annab küll tuge, kuid sellegipoolest tuleb vastavaid seadusi ja reegleid väga hästi tunda, sest kõiki potentsiaalseid olukordi arvutisüsteem ette ei näe.

Autor lahendas antud lõputöö sissejuhatuses püstitatud ülesanded analüüsides erinevate dokumentide alusel töö- ja puhkeaja piiranguid ning muid planeerimist mõjutavaid faktoreid ja jõudis sealjuures järgmistele järeldustele:

- Hetkel kehtivad EA-s pilootidele ja salongipersonalile erinevad töö- ja puhkeaja nõuded. Kui salongipersonalile rakenduvad otseselt EU-OPS 1 töö- ja puhkeaja reeglid, siis pilootide kollektiivleping loob EU-OPS 1 töö- ja puhkeaegadesse täiendavaid kitsendusi. EU-OPS-i analüüsides selgub, et vastav dokument on leidnud palju vastukaja seoses väga leebete normidega. Samuti ei reguleeri dokument piisavalt kõiki töö- ja puhkeaegadega seotud teemasid ning ei arvesta lennufirma tegevuse iseärasustega. Seega leiab autor, et reguleerimata küsimused tuleks suunata riikliku regulaatori poole, kes siis vastavad puudujäägid kõrvaldaks arvestades Eestis tegutsevate lennuettevõtete spetsiifikat.
- Lendava personali koolitused on rangelt reglementeeritud ja koolitusprotsess on ajamahukas (Lennuakadeemia lõpetanud piloodi puhul minimaalselt 2 kuud). See eeldab firma juhtkonna poolt väga konkreetseid ja õigeaegseid sisendeid meeskondade värbamiseks, vastasel korral võivad jääda lennud mehitamata.
- Tööst selgub ka kui paljude reeglite, tingimuste ja teguritega tuleb eelnevalt arvestada, et mehitada lennuk kõigi nõuete kohaselt ja ohutult. Ning et planeerimine on pidev protsess alates firma arengu pikemaajalistest plaanidest lõpetades igapäevase operatiivse planeerimisega.
- Meeskondade planeerimise töö parandamiseks peaksid erinevad osakonnad tegema omavahel tihedamat koostööd ning jagama informatsiooni kiiremini. Planeerimisosakonnale on väga tähtis, et juhtkond saadaks võimalikult vara info lennukipargi ja lennukite arvu kohta. See kõik on seotud plaanide õigeaegse väljaandmisega ning koolituste nõuetekohase planeerimisega.
- Kollektiivlepingud kehtestavad lendava personali graafikutele võrdsuse printsiibi. Sellest printsiibist lähtudes tuleb graafikuid tasakaalustada ning selleks peavad

lennud olema õigel ajal õigete lennukitüüpide peale planeeritud ning lennugraafik paigas.

Antud lõputööd on kindlasti võimalik nüanssides edasi uurida ja arendada, nii nagu ka muutuvad pidevalt ajas tehnoloogia, protseduurid ja lennundusmaastikku reguleerivad õigusaktid.

I. Üprus. *Meeskondade planeerimise süsteem ja seda mõjutavate tegurite analüüs AS Estonian Air näitel: lõputöö, juhendaja Kurmo Annus (MBA), konsultant Anton Önnik. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.*

Kasutatud kirjanduse nimekiri sisaldab 46 allikat.

SUMMARY

CREW PLANNING SYSTEM AND ANALYSIS OF THE AFFECTING FACTORS ON THE BASIS OF ESTONIAN AIR

Key words: crew planning, duty and rest time limitations, EU-OPS subpart Q, union agreement, crew trainings, crew planning in Estonian Air

All airlines make efforts to be profitable. Yet, the market is hectic and it is vital for companies to react as quickly as possible. The choice is either to expand or to make cuts, and evaluating the proper number of crews is a very important part of this. The reason is that during the period of growth more crew is needed, and also additional time for training must be taken into account. On the other hand, having surplus of crew will mean excessive costs for the company.

The goal of this study is, primarily, to point out the main factors that affect crew planning. This involves the analysis of the influence of duty and rest time limitations. In addition, the work points out all the factors that affect crew planning including the crew training. The paper consists of four main chapters:

- Duty and rest time limitation and their influence on crew planning.
- Crew preparation and trainings.
- The factors affecting and limiting the crew planning process.
- Crew planning on the basis of Estonian Air Ltd.

The work shows how many different rules must be considered before making the crew plan and how all these rules affect the planning process. The paper explains how the work load is distributed within the Crew Planning Department and how the system of PDC Crew works.

EESTI KARISTUS- JA SÜÜTEOMENETLUSÕIGUSE MÕJU Lennuohutust mõjutavatest juhtumitest VABATAHTLIKU TEATAMISE SÜSTEEMI RAKENDAMISELE

KERT KOTKAS (magistritöö)
Juhendaja Tristan Ploom

Märksõnad: lennuohutust mõjutavate juhtumite uurimine, süüteomenetlus, juhtumitest vabatahtlik teatamine

Sissejuhatus

Eestis registreeritakse aastas 300–400 teadet lennuohutust mõjutavate juhtumite kohta. Nende hulka kuulub 50–60 lennuintsidenti ja tõsist lennuintsidenti, millele lisandub veel ligikaudu 300 kergemat vahejuhtumit. Eesti suhteliselt lühikese iseseisvusaja jooksul on paraku aset leidnud ka mitu lennuõnnetust. Kõik lennuõnnetused ja -intsidendid kuuluvad registreerimisele ja uurimisele vastavalt nende ohtlikkusele ning potentsiaalsete või reaalselt tagajärgede raskusele.

Lennuõnnetuste ja -intsidentide uurimine toimub 1944. a Chicago rahvusvahelise tsiviillennunduse konventsiooni lisa 13 alusel. Nimetatud sätete kohaselt on uurimise eesmärgiks õnnetuste ja intsidentide ärahoidmine tulevikus. Rõhutatakse, et uurimise eesmärgiks ei ole kellegi süü või vastutuse ulatuse väljaselgitamine.

Euroopa Liidus reguleerib lennuohutust mõjutavatest juhtumitest teavitamist ja nende juhtumite uurimist Euroopa Parlamendi ja Nõukogu 20. oktoobri 2010. a määrus (EL) nr 996/2010 tsiviillennunduses toimuvate lennuõnnetuste ja intsidentide uurimise ja ennetamise kohta ning millega tunnistatakse kehtetuks direktiiv 94/56/EÜ. Nimetatud määruses nähakse ette, et tsiviillennundussüsteem peaks soosima karistamisele mittesuunatud õhkkonna loomist, mis hõlbustaks spontaanselt vahejuhtumitest teatamist ning aitaks nii edendada nn mõistliku tegutsemise põhimõtte levikut.

Asjaolu, et eeltoodud sätte eestikeelses tekstis on kasutatud õigusaktile üldjuhul mitteomast väljendit „õhkkond“, ning et selle ingliskeelses algtekstis on kasutatud mõistet keskkond (ing *environment*), juhib selgelt tähelepanu asjaolule, et õiguslikud regulatsioonid võivad olla üheks oluliseks komponendiks lennuohutust mõjutava personali töökeskkonna kujundamisel ja selles eksisteeriva tööstressi taseme mõjutamisel.

Eeltoodu juhib omakorda tähelepanu tõsiasjale, et õigusaktide nõuded ei oma mitte üksnes juriidilist tähendust, vaid on ka üheks oluliseks teguriks lennuohutust mõjutava personali töökeskkonna kujundamisel.

Sisu ja tulemused

Lennundusseaduses antud legaalseaduse kohaselt loetakse lennundustegevuseks tegevusvaldkonda, mis on seotud õhusõiduki käitamisega, mehitamisega, valmistamisega ja hooldusega, lennuliikluse teenindamisega, lennuväljade ja kopteriväljakute käitamisega ning lennundusspetsialistide koolitamisega. Selle mõiste alusel saab Eesti tingimustes eristada järgmisi põhilisi lennundustegevuse töövaldkondi:

1. õhusõidukite käitamine lennu sooritamisel, ehk õhusõidukite juhtimine;
2. õhusõidukite hoolduse ja remondi (üldjuhul vähemahuka) teostamine (õhusõidukite sertifitseeritud tootjaorganisatsioonide käesoleval ajal Eestis ei tegutses);
3. lennuliiklusteenuste osutamine ja lennu ettevalmistamiseks ning planeerimiseks vajaliku info käitlemine;
4. lennuvälja või kopteriväljaku käitamine;
5. lennundusalase koolituse läbiviimine;
6. lennundustegevuse korraldamine ja lennundusorganisatsiooni haldamine.

Loetletud kuuest lennuohutust mõjutava personali põhilisest töövaldkonnast on esimese viie puhul õigusaktide nõuete otsene mõju töötaja tasemel vähemtajutav, kuna tegevusi reguleerivad vastava valdkonna organisatsioonisisestest käsiraamatutest ning tehnilistest vahenditest käitamisnõuded. Õigusaktide vahetut mõju tajutakse nendes valdkondades eeskätt tööõiguslike küsimuste esilekerkimisel.

Kuuendana loetletud valdkonnas on õigusaktide otsene mõju suurem. Selle põhjuseks on asjaolu, et antud tegevusvaldkonna ülesandeks ongi organisatsiooni-sisestest käsiraamatutest ja tegutsemisprotseduuride väljatöötamine, mis tingib vajaduse suure hulga õigusaktide läbitöötamiseks.

Samas on lennunduses olemas veel üks oluline ja kõikide eespool vaadeldud töövaldkondade suhtes ülene institutsioon, milleks on lennundustegevuse järelevalve ja lennundusalase vastutuse kohaldamine. Nimetatud institutsiooni osas saaks väita, et ka järelevalve on teatud määral seotud õhusõiduki käitamisega, kuna selle üheks objektiks on ka õhusõiduk. Ettevõtte või organisatsioonisisese käitamisjärelevalve puhul võib see mõnes olukorras nõnda isegi olla. Riikliku järelevalve, eriti just lennundusalase vastutuse kohaldamise puhul on aga tegemist valdkonnaga, mis jääb mitme olulise juriidilise lõigu osas lennundustegevuse valdkonnast selgelt väljapoole.

Ohutusalase teatamise osas osutub kriitiliseks just lennundustegevuse järelevalve ning lennundusalase vastutuse kohaldamise valdkond, kuna selles ilmneb paralleelselt

lennundusalaste, ohutusjärelvalvet ja ohutusjuurdlust käsitlevate õigusaktidega ka lennundusväliste, süüteomenetlust ja süüteovastutust ette nägevate õigusaktide mõju. Viimastes sätestatud karistuste kohaldamise võimalus võib lennuohutust mõjutava personali töökeskkonnas tekitada täiendavat tööstressi ja osutada takistuseks töötajate poolt lennuohutust mõjutavatest juhtumitest vabatahtlikul teatamisel.

Lennuohutust mõjutavate juhtumite uurimise (ohutusjuurdluse) valdkonna ja süüteomenetluse õiguslike printsiipide võrdlemisel ilmneb, et nimetatud kaks valdkonda on teineteisest olulisel määral erinevad just uurimise ehk menetluse eesmärkide osas. Lennuohutust mõjutavate juhtumite uurimise (ohutusjuurdluse) eesmärgiks on juhtumi põhjuste väljaselgitamine nende juhtumite edaspidiseks vältimiseks. Selle eesmärgi saavutamiseks on lennuohutust mõjutavas juhtumis osalenud isikutel kohustus anda uurijale teada kõikidest juhtumi asjaoludest, sh nendest, mis võivad viidata teataja enda süüle selle juhtumi põhjustamises. Ohutusjuurdluse eesmärgiks kellegi süü või vastutuse määra väljaselgitamine olla ei saa.

Süüteomenetluse eesmärgiks on aga juhtumi asjaolude väljaselgitamine ja kellegi isiku süü ning vastutuse määra kindlakstegemine. Süüteomenetluse puhul on lõppeesmärgiks juhtumi põhjustaja vastutusele võtmine. Samas ei saa erinevalt ohutusjuurdlusest süüteomenetluses nõuda seda, et juhtumi võimalik põhjustaja (s.o väärtomenetluses menetlusalune isik, kriminaalmenetluses kahtlustatav) annaks ütlusi nende asjaolude kohta, millest võivad nähtuda tema enda süüle viitavad tõendid (ehk annaks ütlusi iseenda vastu).

Mitmed sagedamini esinevad lennuohutust mõjutavad juhtumid vastavad lennunduse valdkonna süüteokoosseisudele ning nende põhjustaja on karistusõiguse seisukohalt vaadeldav süüteo toimepanejana. Nimelt sisaldab lennuohutust mõjutavate juhtumite olemasolev näidisloetelu terve rea taolisi juhtumikirjeldusi, mille puhul saab juhtumi tekkepõhjuseks olla üksnes lennureeglite või muude ohutusnõuete rikkumine lennuohutust mõjutava personali poolt. Enamiku taoliste rikkumiste eest näeb lennundusalaseid väärtokoosseise sisaldav lennundusseadus (LennS) süüdlasele ette väärtokaristuse, mille määramise õigus on lennuohutuse järelvalve ametnikul. Raskematel juhtudel näeb Eestis kehtiv karistusseadustik (KarS) lennuõnnetuse põhjustamise eest ette kriminaalvastutuse (kuni 10 aasta pikkune vangistus).

Käesoleval ajal Eesti karistus- ja süüteomenetlusõiguse regulatsioonides sisalduvad süüteomenetluse alustamata jätmise ja lõpetamise alused ei anna selgeid õiguslikke võimalusi süüteomenetluse alustamata jätmiseks isiku suhtes, kes on vabatahtlikult teada andnud enda poolt ettevaatamatusest toime pandud süüteotunnustega teost. Toodud asjaolu arvesse võttes tuleks võimalike lahenduste leidmiseks pöörduda Riigikohtu kriminaalkolleegiumi lahendi nr 3-1-1-19-10 ning selle mõjul alates 26.04.2013.a kriminaalmenetluse seadustiku (KrMS) paragrahvi 199 lõikesse 1 täiendavalt sisse viidud punkti 7 sätete poole.

KrMS § 199 lg 1 p 7 näeb ette, et kriminaalmenetlust ei alustata isiku suhtes, kes loovutab vabatahtlikult ebaseaduslikus valduses oleva tulirelva, lõhkeseadeldise või selle olulise osa, laskemoona või lõhkeaine. Seeläbi on KrMS § 199 lg 1 p 7 sisseviimisega loodud õiguslik pretsedent, millele tuginedes on täiesti võimalik ka väärtomenetlusõigusesse sisse viia sätteid, mis võimaldaksid lennundusohutus-alastes süüteokoosseisudes jätta süüteomenetluse alustamata ja alustatud menetluse lõpetada juhul, kui taolise teo toime pannud isik on sellest ise teada andnud lennuohutust mõjutavast juhtumist vabatahtliku teavitamise süsteemi kaudu.

Eeltoodust tulenevalt on Eestis kehtiva karistus- ja süüteomenetlusõiguse sätete kooskõlla viimiseks lennuohutust mõjutavatest juhtumitest teatamist ja nende juhtumite uurimist käsitlevate rahvusvaheliste ja ELi lennundusõigusaktidega, vajalik ja võimalik muuta Eestis kehtiva väärtomenetluse seadustiku (VTMS) sätteid. Nimetatud eesmärgi saavutamiseks on otstarbekas täiendada VTMS-i § 29 lõiget 1 punktiga 8, mille säte võimaldaks jätta väärtomenetluse alustamata lennuohutusalaste süütegude puhul, kui nendest on nõuetekohaselt vabatahtlikult teatatud.

Lennundusseadus sisaldab ka selliseid väärtokoosseise, milles kirjeldatud tegude puhul ei ole väärtomenetluse alustamata jätmine nende raskuse tõttu põhjendatud. Samuti sisaldab lennundusseadus väärtokoosseise, mille puhul teo toimepanejaks ei saa olla lennuohutust mõjutava personali hulka kuuluv isik. Seetõttu on vajalik konkreetse loeteluna sätestada need lennundusseaduses sisalduvad väärtokoosseisud, milles kirjeldatud teo ettevaatamatusest toimepaneku korral oleks väärtomenetluse alustamata jätmine põhjendatud juhul, kui aset leidnud rikkumisest on nõuetekohaselt teatatud.

Väärtomenetluse alustamata jätmise õigusliku võimaluse loomine viiks põhiseaduse (PS) §-s 22 sätestatuga paremini kooskõlla ka LennS §-i 60⁶ (lennuohutust mõjutavast juhtumist teatamata jätmine) sätete mõju olukorras, kus isik peaks teatama enda poolt ettevaatamatusest toime pandud lennuohutusunõuete rikkumisest. LennS § 60⁶ näeb teatamiskohustusliku isiku poolt lennuohutust mõjutavast juhtumist teatamata jätmise eest nii füüsilisele kui ka juriidilisele isikule karistusena ette rahatrahvi. Nõnda sunnib kõnealune säte isikut, kes on ise ettevaatamatuse tõttu pannud toime lennuohutusunõuete rikkumise, sisuliselt karistuse ähvardusel andma ütlusi iseenda vastu. PS § 22 kolmandas lauses nähakse aga ette, et kedagi ei tohi sundida tunnistama iseenda või oma lähedaste vastu ning selle põhimõtte isikuline kaitseala hõlmab nii kriminaal- kui ka väärtomenetluse subjekte.

Kokkuvõte

Eestis käesoleval ajal kehtiva karistusõiguse rakendamise tingimustes ei ole võimalik anda lennuohutust mõjutava juhtumi põhjustanud, kuid samas sellest vabatahtlikult

teatanud isikule õiguslikku garantiid tema süüteo menetlusele mitteallutamise kohta. Võib eeldada, et lennundustöötaja puhul on tegemist isikuga, kes on keskmisest kodanikust veelgi enam suunatud õiguskuulekusele ja tegutsemisreeglite kõrvalekaldumatule järgmisele. Seetõttu on taoliste isikute puhul juba ainuüksi menetlusluseks isikuks sattumise teoreetiline võimalus (eriti veel olukorras, kus ta on vabatahtlikult ja ausalt teatanud oma eksimusest) sedavõrd negatiivseks teguriks, mis oluliselt takistab lennuohutust mõjutavatest juhtumitest vabatahtliku teatamise süsteemi rakendamist ja toimivust.

Kokkuvõtteks võib väita, et Eesti kehtiv karistus- ja süüteo menetlusõigus ei ole lennundusalaste süütegude käsitlemise osas täiel määral kooskõlas Euroopa Liidu õigusega, täpsemalt Euroopa Parlamendi ja Nõukogu määrusega (EL) nr 996/2010, tsiviillennunduses toimuvate lennuõnnetuste ja intsidentide uurimise ja ennetamise kohta, mille punktis 24 nähakse ette vajadus soosida tsiviillennunduses karistamisele mittesuunatud õhkkonna loomist, et hõlbustada spontaanset vahejuhtumitest teatamist ja aidata seeläbi edendada nn mõistliku tegutsemise põhimõtte levikut. Samas on Eesti karistus- ja süüteo menetlusõiguse vastavasse kooskõlla viimine suhteliselt lihtsate õiguslike vahenditega täiesti võimalik ja loomulikult ka vajalik.

K. Kotkas. *Eesti karistus- ja süüteo menetluse mõju lennuohutust mõjutavatest juhtumitest vabatahtliku teatamise süsteemi rakendamisele*: magistritöö, juhendaja Tristan Ploom. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud kirjanduse loetelu sisaldab 70 allikat.

SUMMARY

IMPACT OF ESTONIAN PENAL LAW AND PROCEDURAL LAW ON ESTABLISHING VOLUNTARY AVIATION INCIDENT AND OCCURRENCE REPORTING SYSTEM

Key words: investigation of aviation occurrences, misdemeanour proceedings, voluntary reporting on occurrences

The purpose of the thesis is to study the relationships between the basic principles and regulations of investigation of aviation incidents and the principles and regulations of Estonian penal and procedural law and to give suggestions for eliminating the problems discovered during the study.

The main objects of research are the international and national regulations on investigation of aviation incidents and their contradictions to the requirements of penal and procedural legal acts of the Republic of Estonia.

This thesis is necessary because it concerns the legal aspects of establishing the voluntary system for reporting on incidents and occurrences. This reporting system is one of the key tools of safety management systems and aviation safety programs.

According to Annex 13 of the International Civil Aviation Convention, the sole objective of the investigation of an accident or incident shall be the prevention of accidents and incidents. It is not the purpose of this activity to apportion blame or liability. Also, in Section 24 of the Regulation (EU) No 996/2010 of the European Parliament and of the Council from 20 October 2010 on the investigation and prevention of accidents and incidents in civil aviation, it is required that the civil aviation system should equally promote a non-punitive environment facilitating the spontaneous reporting on occurrences and thereby advancing the principle of "just culture". But the purpose of the misdemeanour proceeding law and criminal proceeding law is without exceptions to establish the apportion of blame and to prosecute. So there is a conflict between the rules for aviation incidents investigation and the Estonian penal law.

The conclusion of the research paper is that according to the penal law of the Republic of Estonia, there are no legal possibilities to avoid initiating a misdemeanour proceeding or criminal proceeding against the people who have reported on the unintentional violation of flight safety regulations committed by themselves.

The Republic of Estonia shall have to adopt a National Aviation Safety Programme and also introduce an effective occurrences reporting system. To help to achieve this goal, the thesis presents suggestions to change the law and give aviation specialists a legal warranty of not being punished after having voluntarily reported on the violation of aviation safety regulations, except for criminal offences, which were committed by them unintentionally. This warranty will surely motivate aviation specialists to report more often on different incidents and occurrences affecting aviation safety.

ÕHUSÕIDUKI EHITUS JA HOOLDUS

SAATEKS

Olukordade teaduspärane ja ka tervemõistuslik tunnetamine vajab nende mitmekesisuse mõistmiseks, kirjeldamiseks, liigendamiseks ja selgitamiseks kindla ja täpse sisuga üldarusaamu. Selline arusaamade kogum ei tohi ega saa tarduda lõplikult fikseeritud süsteemiks. Muutused ühiskonnas ja tähelepanekud uutest arengusuundadest sunnivad üsna tihti kehtivat arusaamade ning põhimõtete süsteemi revideerima. Toiming osutub seda põhjalikumaks, mida enam on uusi nähtusi ja vaatekohti vahepeal lisandunud.

Lennundus kitsamas, siseriiklikus, kui ka laiemas, globaalses plaanis, on viibimas ühes olulises revisjoni faasis, mis on ennekõike tingitud mitmetest muudatustest majanduses ja tehnoloogias.

Nimetatud muudatustega kohanemiseks ning tööjõuturu ootustele vastava personali ettevalmistamiseks on Eesti Lennuakadeemia lennutehniline koolitusorganisatsioon möödunud aasta jooksul ellu viinud mitmeid olulisi muudatusi ja täiendusi nii õppe- töö korraldamises, käsitletavate teemade valikus kui ka õppekeskkonna sisseseades.

Kirjeldamaks toimunud muudatusi ja nende elluviimise põhjust, tuleb käsitluse lihtsustamiseks jätta kõrvale siseriikliku hariduspoliitika reformimisest tulenevad tegurid. Süveneda võiks ennekõike nendesse, mis osakonna koolituse eesmärkidest tulenevalt on seotud tehnoloogia, tehnika, elektroonika ja sidetehnika arenguga ning neist tingitud mõjuga majandustegevusele ja seeläbi ka koolitusvajadusele.

Lisaks harjumuspärase lennundustehnika ning selle käitamisega seonduva tehnika arengule on kiiresti esile kerkimas mehitamata õhusõidukite konstrueerimise, ehitamise, käitamise ja opereerimisega seonduvad õiguslikud ja tehnoloogilised küsimused. Tegemist on uue valdkonnaga lennunduses, mille juhtimiseks, arendamiseks ning reguleerimiseks puudub Eestis piisav hulk kompetentset personali. Oleme tekkinud olukorrast tingitud nõudlusest lähtuvalt täiendanud oma õppekava mehitamata õhusõidukite konstrueerimise ning sellega seonduvate fundamentaalteaduste õppe elementidega.

Silmatorkava uuendusena võibki lugeja seetõttu märgata õppekaval, mis varasemalt kandis nime „Õhusõiduki hooldus“, uut nimetust „Õhusõiduki ehitus ja hooldus“ (*Aircraft Engineering*). Tegemist ei ole mitte kosmeetilise nimemuudatuse, vaid ka sisulise õppekava muudatusega, kus varasemalt vaid õhusõiduki hooldusele suunatud erialaõpe on nüüd kohaldatud ning suunatud ka konstrueerimis- ja ehitamisalase väljaõppe toetamiseks.

Et Eesti lennundusettevõtted vajavad jätkuvalt ka hea ettevalmistusega hooldusspetsialiste, siis ei ole õppekava arendamisel tehtud vähimaidki järeleandmisi EC2042/2003 Osa 66 koostamisprogrammi täitmisele. Õhusõidukite hoolduse suuna arendamiseks oleme käesoleval aastal soetanud õhusõiduki Learjet 25b, mis võimaldab tehnikute õppes teostada ka neid hooldustöid, mis hooldusorganisatsiooni igapäevapraktikas harva ette tulevad, või mille teostamiseks puuduvad Eesti hooldusettevõtetel vastavad pädevused.

Mehitamata õhusõidukite konstrueerimise, õhusõidukite aerodünaamiliste omaduste parendamise arengusuundasid toetavad ka möödunud õppeaastal kaitstud lõputööd, millest parimad on käesolevas kogumikus kokkuvõtlikuna esitatud. Ent vaid uued suundumused pole ELA jaoks tähtsad, samaväärselt oluliseks peame lennunduse ajaloo ja kultuuripärandi uurimist ning säilitamist, vastavasisulise töö kokkuvõtte leiab lugeja samuti kogumikust. Ühise joonena võib lõputööde juures välja tuua tulemuste rakendatavuse – olgu selleks siis mehitamata kopteri konstrueerimine, miniklappide mõju uurimine või ajaloolise õhusõiduki taastootmise võimaluste analüüsimine.

Selleks, et märgata, tajuda tendentse lennundussektoris ning lähtuvalt olemasolevatest ning võimalikest täiendavatest ressurssidest leida parim võimalik lahend, mis tagaks olemasoleva ja prognoositava olukorra lahendamise, peab Eesti Lennuakadeemia jätkama tihedat koostööd valdkonna ettevõtetega. Vaid sellisel juhul suudame tagada ettevõtete vajadustele vastavate spetsialistide ettevalmistuse ning Eesti lennunduse jätkusuutlikkuse.

Karl-Eerik Unt (MSc)

Õhusõiduki ehituse ja hoolduse osakonna juhataja

ÕPPETREENINGLENNUKI PTO-4 REKONSTRUEERIMINE

MAREK LENTSIUS

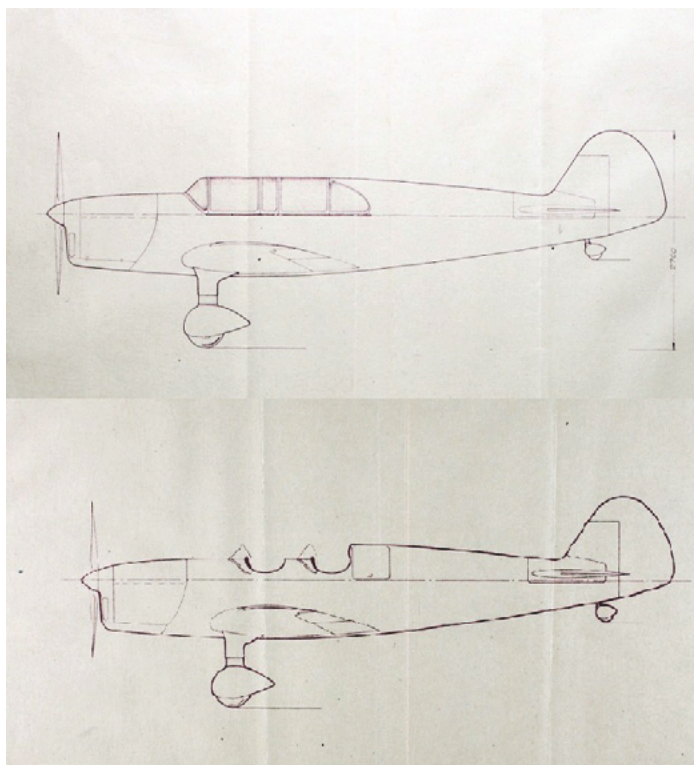
Juhendaja Karl-Eerik Unt (MSc), konsultant Aivi Jürgenson

Märksõnad: Eesti lennuvägi, PTO-4, Eesti Riigiarhiiv, konstruksioonijoonised, digiteerimine

Eesti lennundusel on olnud kirev ajalugu. Viimase 100 aasta piirid ulatuvad esimestest julgetest lenduritest tänapäevase kommertslennunduseni, hõlmates endas ka iseseisvunud Eesti-aegseid lennukiparke, tootmistehaseid ja nõukogudeaegset lennundust. Lennukitootmist Eestis enam ei eksisteeri. On küll üksikuid ettevõtmisi, mille käigus ehitatakse juba olemasolevate lennukite koopiaid või üritatakse luua midagi täiesti uut.

Eesti Lennuakadeemia üheks eesmärgiks on edendada lennunduskultuuri Eestis. Lisaks erinevate spetsialistide koolitamisele, keskendutakse Eesti Lennuakadeemias ka lennunduse ajaloo ja kultuuripärandi uurimisele ning säilitamisele. Üheks väljundiks on projekt Eesti lennukitootmise ajaloo uurimiseks, mille aluseks võeti Eesti inseneride poolt välja töötatud õppetreeninglennuk PTO-4 (toodeti Eestis vahemikul 1938–1940).

Eesti iseseisvumise järel loodi 1918. aastal Eesti lennuvägi ja sellega algas ka pilootide väljaõpe. Kui 1920ndaid iseloomustas Eesti lennunduse ja eriti õhuväe kiire areng, siis 1930ndatel sai see veelgi enam hoogu. Põhiliseks suunaks sai pilootide koolitamine sõjaväele ja seega suurenes nõudlus kvaliteetsete treeninglennukite järele. 1938. aastal alustasidki kolm Eesti inseneri (V. Post, R. Tooma, O. Org) uue õppelennuki monoplaan PTO-4 (joonis 1) projekteerimist, mis pidi olema kahekohaline, alatiiviline ning hea manööverdusvõimega. Nimetatud lennukimudel osutus väga edukaks, kuid nõukogude võimu tulekuga lõpetati nende kasutamine. Kuigi tänaseks pole säilinud ühtegi PTO-4 lennukit, on Eesti Riigiarhiivis olemas peaaegu kõik lennuki ehitamiseks vajalikud joonised.



Joonis 1. PTO-4 kinnine (üleva) ja lahtine (all) ehituslaad (ERA 526.1.144: 5, 7)

Töö üheks eesmärgiks oli arhiividokumentide põhjal koostada ülevaade lennuki PTO-4 tootmise ajaloost Eestis. Lisaks analüüsida lennukiga seotud säilikute olukorda, neid süstematiseerida ning hinnata reaalseid võimalusi õhusõiduki taasvalmistamiseks.

Töö käigus koostati ülevaade arhiivis olevatest vastavatest säilikutest ning nad süstematiseeriti. Dokumentide läbitöötamise tulemusena leiti, et lennuki PTO-4 tootmine 1938. a ei olnud sujuv ning esines mitmeid probleeme. Lennuki konstrueerinud kolme Eesti inseneri ja õhusõiduki tellija Eesti Vabariigi Õhuväe vahel tekkis lennuki ehitamise protsessis palju lahkeltõlgemisi. Lennuki konstruktsiooni ideest seeriatootamiseni olid põhilisteks probleemideks koostajate ebapiisav väljatöötamine ning sellest omakorda tootmisel tingitud takistused.

Uurimuse käigus selgus Eesti Riigiarhiivis hoitavate lennukiga PTO-4 seotud säilikute olukord. Säilinud dokumentide sisu on küll peaaegu täies mahus olemas, kuid mitmete jooniste seisukord on mitterahuldav. Tingituna asjaolust, et säilikute seisukord on niivõrd halb, ei võimaldanud Eesti Riigiarhiiv töö autorile nendele ligipääsu. Autoril

oli võimalik säilikutega tutvuda digiteeritud kujul. Jooniste suure mõõtkava tõttu tuli Riigiarhiivil digiteerimist teha osadena, jooniste tagasi kokkumonteerimine oli autorile märkimisväärne lisatöö.

Säilikute halva kvaliteedi ning osadena digiteerimise tõttu tekkis joonistes hulganisti moonutusi, mida autoril terviklike jooniste saamiseks tuli ajamahuka digitöötlamisega parandada. Soovida jättis jooniste digiteerimise kvaliteet, sest paberil esinevad lainetused ning voldid jäeti digiteerimise käigus joonistelt eemaldamata. Eriti määravaks sai see šabloonijooniste puhul, sest seal puuduvad detailide mõõdud. Kokku on säilinud 345 joonist, millest 303 on kokku monteeritud. 42 joonist vajavad veel töötlemist, sest Eesti Riigiarhiiv edastas need vahetult enne töö valmimist.

Töös kalkuleeriti lennuki PTO-4 ehituse võimalikku maksumust võttes arvesse tänapäeva konteksti. Kalkulatsiooni tegemisel toetuti arhiivimaterjalidest leitud 1938. a tootmiskuludele, sealhulgas arvestades esialgse lennuki ehitamisel kasutatud materjale. Materjalid nagu puit ning teras, mida samade standardite järgi enam ei toodeta, asendati arvestuses tänapäeval toodetavatega. Lennuki põhiosa, mootori, ostmise võimalus leiti Austraaliast, kuid sinna juurde kuuluvat propellerit ei olnud võimalik autoril tuvastada. Teised rariteetsed komponendid, näiteks 1930ndatel kasutatud näidikud, on võimalik leida ainult eraomandusest, ning nende otsimine ja komplekteerimine on väga pikk protsess. Hinnaarvestuse lihtsustamiseks on kasutatud tänapäevaseid näidikuid, lähtudes valikul peamiselt nende ajastutruust välisusest ning mõõtudest. Teliku ning tulede valikul on võetud arvesse lennuki mõõtudest tulenevaid piiranguid. Väikeste asjade, nagu kinnitustahvrite, voolikute ja torude kulud on esitatud kokkuvõtvalt.

Projekti üldiselt hinnates saab järeldada, et lennuki taasvalmistamine on reaalne. Ehituse jooksul peab arvestama jooniste tõlgendamise probleemiga, sest paljudele joonistele on märgitud peale, et detail sobitada kokkupanekul. Sellised ja mitmed teised takistused võivad rekonstrueerimise protsessis ilmneda, kuid kompetentsete inseneride juhtimise all on need lahendatavad.

Vaatamata sellele, et lennukit PTO-4 toodeti Eestis üle 80 aasta tagasi, 1930ndate lõpul, on Eesti Riigiarhiivis tänaseni säilinud 99,9% lennuki konstruktsioonijoonistest. See võimaldaks soovi korral jätkata kodumaist lennukitootmist punktist, kus ta Teise maailmasõja eel seisma jäi.

Autori eesmärk uurida lennukitootmise ajalugu Eestis, anda ülevaade arhiivis säilikute olukorrast, süstematiseerida neid ning hinnata võimalusi õhusõiduki taasvalmistamiseks sai täidetud.

.....
M. Lentsius. *Õppetreeninglennuki PTO-4 rekonstrueerimine:* lõputöö, juhendaja Karl-Eerik Unt (MSc), konsultant Aivi Jürgenson. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 39 allikat.

.....
SUMMARY
RECONSTRUCTION OF TRAINING AIRCRAFT PTO-4
.....

Key words: Estonian Air Force, PTO-4, Estonian State Archives, construction diagrams, digitizing

A research was made on the production history of an Estonian built pilot training aircraft PTO-4 (figure 1). The aim of this research was to study the cultural legacy of aircraft production in Estonia and the methods used in the 1930's, and also analyze the possibility of reproducing this aircraft. Documents on the aircraft PTO-4 retained in the State Archives were analyzed.

The author found the blueprints of the PTO-4 and the text documents concerning the production of the aircraft in 1938, retained in the State Archives. During the study the author found that most of the blueprints were inaccessible. The only way to access them was by having them digitized by the archive.

Data was collected about the training aircraft PTO-4 – its concept, how and why it was developed and built. A comparison was made between the English built training aircraft, Miles Magister, and the Estonian PTO-4. The author also analyzed and described the process of digitizing the blueprints at the State Archives. The problem the author had to face was that due to the large scale of the blueprints they had to be digitized a portion at a time and after that be assembled by the author. The process was time consuming and problematic because of the age and frail condition of the paper.

A price calculation of the reproduction project was made to estimate the final price, find the prices and suppliers for all the major parts needed in building the aircraft from birch plywood to the aircraft's engine. The only important part missing was the propeller of the aircraft because it was not possible for the author to find the exact type used. The author brought out the problems that might come up in the reproduction of the aircraft.

Based on the research and work completed in this project the author concludes that further work is needed to be done on the blueprints of the aircraft due to their frail condition. The search for original parts of the aircraft is needed to keep the reproduction as close to the original as possible. The author is going to offer the results of this research to Estonian Aviation Academy where they can be implemented for reproduction of training aircraft PTO-4.

MEHITAMATA ÕHUSÕIDUKI KONSTRUEERIMINE
VIDEOLENDUDEKS

SIIM HEERING
Juhendaja Karl-Eerik Unt (MSc), konsultant Tambet Viljalo

Märksõnad: mehitamata multirootorkopter, kaamera, Hexa, lennukontroller, konstruktsioon, MikroKopter

Mehitamata õhusõidukid on seadmed, mis on võimelised lendama pardal oleva inimeseta. Nende viimastel aastatel kasvanud populaarsus on tingitud laiaast kasutusala, odavast hinnast ning suuresti sellest, et juhtimiseks vajalik elektroonika on muutunud eratarbijale kättesaadavaks. Inimese puudumine on mehitamata õhusõidukite eeliseks, see võimaldab ehitada väiksemaid, kergemaid ja mitmesuguste kerekujuodega õhusõidukeid.

Lennuamasinad jaotatakse erinevatesse klassidesse. Autor keskendus multirootorkopteritele, mida defineeritakse kolme või enama rootori, mille abil õhusõiduk õhus püsib, kasutamise kaudu. Teiste mehitamata õhusõidukitega võrreldes on multirootorkopterite osakaal erakasutajate hulgas kõige suurem. Nende kopterite eeliseks on võime hõljuda ühes ruumipunktis ning harjumuspäraste kopteritega võrreldes on nende konstruktsioon mehaaniliselt lihtsam.

Multirootorkopterite kasutusala on väga lai – filmimisest alade kaardistamiseni. Neid kasutatakse ka teaduslikel eesmärkidel kohtades, kuhu mehitatud õhusõiduki saatmine oleks liialt ohtlik või õhusõiduki gabariitide tõttu võimatu. Kasutades andmesideühendust, on võimalik pildistatavat ja filmitavat maa pealt jälgida, mis lihtsustab ka operaatori tööd.

Eestis on mitmeid kergesti kasutatavat ja transporditavat ning samas odavat alternatiivi mehitatud õhusõidukile vajavaid ettevõtteid ja asutusi (näiteks Maaamet, Regio, Eesti Energia).

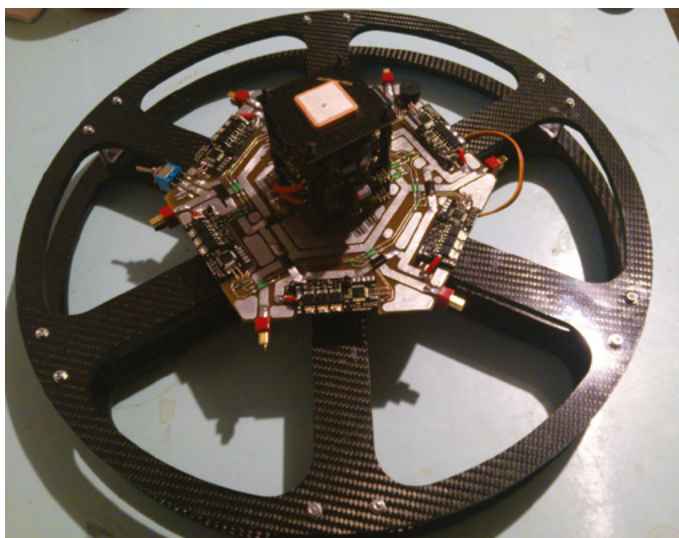
Töö eesmärgiks oli tellimustööna konstrueerida kinematograafia ettevõttele OÜ LCDVF mehitamata õhusõiduk. Autorile esitati järgmised kriteeriumid, mille järgi valmistatav õhusõiduk pidi olema:

- teistest samalaadsetest soodsam,
- kahe operaatori poolt juhitav,
- kandevõimega üle 2,5 kg,
- võimalikult pika lennuajaga,
- juhitava kaameraalusega kolme telje suhtes.

Kaameraaluse konstrueerimine ei kuulunud antud töö raamesse.

Autor võrdles erinevate multirotorkopterite näitajaid ning analüüsis juhtimiseks vajaliku elektroonika andmeid. Lähtuvalt nendest ja tellija kriteeriumitest koostati Hexa-konfiguratsioonis kopteri projekt, mis sai õhusõiduki konstrueerimise aluseks.

Erinevalt võrreldud multirotorkopteritest otsustas autor kere jäikuse tõstmiseks ning kaameraaluse ja akude stabiilsemaks kinnitamiseks kasutada suure läbimõõduga keskraami. Ühe suure mahtuvusega aku asemel projekteeriti kopteri käitamiseks elektrisüsteem, mis kasutaks kuni kuut 2200 mAh liitium-polümeer (Li-Po) akut, vähendades sellega kogukulusid ning suurendades kogumahtuvust ja lennuaega (joonis 1). Tellija soovidele vastavalt tuli kopterile ehitada kokkuvolditav telik, sest kaameraalus planeeriti kolme telje sihis liikuv. Kaamera ja õhusõiduki sõltumatu juhtimine eeldas kahe lennukontrolleri kasutamist.



Joonis (Figure) 1. Raamile kinnitatud trükkplaat

Projekti tulemusena ehitati kuuerootoriline süsinikkiust kerekonstruktsiooniga kopter, mille elemendid modelleeriti ja tugevusarvutused teostati inseneritarkvaraga SolidWorks. Tugevusarvutustes tugineti ettevõtte Performance Composites Ltd andmetele. Vähendamaks keskraami kaalu, freesiti mootorikonsoolide vahelistesse aladesse avad.

Kopterile valiti firma MikroKopter mootorid nende suure jõudluse ja sobiva kiirusvahemiku tõttu. Mootorite arvutuslik summaarne tõmme on 13 200 grammi, mis vastab lähtetingimustele. Konstrueerimisel arvestati, et õhusõiduki õhkutõusu

kaal ei ületa 6600 grammi, mille sisse arvestati kopteri konstruktsiooni kaal koos akudega ning kaameraaluse ja kaamera kaal. 6600 grammist väiksem õhkutõusu kaal tagab hea juhitavuse ja stabiilsuse aerovõtete tegemisel ning pika lennuaja.

Kopterile lisati alumiiniumist kokkuklapitav telik (kaamerapildi segamise vältimiseks). Telikud kinnitati mootorikonsoolide alla, et tagada suurem stabiilsus õhkutõusul ja maandumisel.

Enne MikroKopteri elektroonika paigaldamist veenduti lennukontrolleri sobivuses kaameraaluse juhtimiseks ja stabiliseerimiseks. Võimaldamaks õhusõiduki ja kaameraaluse juhtimist, paigaldati mõlemale kontrolleri oma raadiovastuvõtja. Kui kaameraaluse juhtimine ei ole vajalik ning piisab stabiliseerimisest, siis saab masinat juhtida ka ainult üks operaator. Kopterile on lisatud juurde videosüsteem, mis aitab piloodil lennata pikemate vahemaade taha.

Vajaliku elektroonika kinnitamiseks ja ühendamiseks ning kontrolleri õhusõiduki külge kinnitamiseks valmistati spetsiaalne trükkplaat.

Autor koostas tööde ja detailide hinnakirja, mille kokkuvõttest selgus, et konstrueeritud kopter on võrreldavatest kopteritest odavam.

Katselendude käigus saadud tulemused kinnitasid, et konstrueeritud õhusõiduk vastab projekteerimisele esitatud nõuetele, on lennuvõimeline ning suudab stabiilselt hõljuda. Täiendav info masina ekspluatatsioonandmete, näiteks kandevõime, manööverdusomaduste ning lennuaja kohta vajab edasisi lennukatseid.

S. Heering. *Mehitamata õhusõiduki konstrueerimine videolendudeks:* lõputöö, juhendaja Karl-Eerik Unt (MSc), konsultant Tambet Viljalo. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 50 allikat.

SUMMARY CONSTRUCTION OF AN UNMANNED AIRCRAFT FOR AEROFILMING

Key words: UAV multirotor, camera, Hexa, construction, MikroKopter

The purpose of this study was to construct an unmanned aircraft. The demand for this topic came from an Estonian cinematography company LCDVF. According to their requirements and needs the multirotor construction had to be capable of lifting a professional camera, such as Red One, Canon 5D Mark III with a camera stabilisation

gimbal. To meet the requirements various commercially available multirotor vehicles were examined and analyzed. The basic design for the multirotor vehicle was derived based on that analysis.

A multirotor helicopter design powered with six electric motors was chosen. The landing gear had to be retractable to guarantee an unobstructed view for the camera. The main material chosen for the construction was carbon fibre for its lightness and excellent strength. Multirotor helicopters need electronic controllers generally known as flight controllers for a stable flight. MikroKopter flight controllers were chosen to stabilize the helicopter and camera gimbal because they are considered to be one of the most stable controllers and because of the previous experience with it (figure 1).

Test flights showed that the aircraft is capable of stable flight. During one of the test flights there was possibly a short circuit between the data bus and the power trace that caused the malfunction of motor controllers. There was also a problem with actuating the landing gear servos. It is to be determined yet whether the problem was in the servos or in the controller which sends out the signal. A lot of issues and new ideas came up during the construction so that at the end of the study there arose suggestions and recommendations for the features or elements to be changed or redesigned when building the next aircraft for this purpose.

MINIKLAPPIDE MÕJU ÕHUSÕIDUKI JANTAR STANDARD 3 LENNUOMADUSTELE

JAAK KÕUTS

Juhendaja Karl-Eerik Unt (MSc), konsultant Peep Lauk

Märksõnad: miniklappid, Jantar Standard, aerodünaamika, lennuomadused, vertikaalkiirus

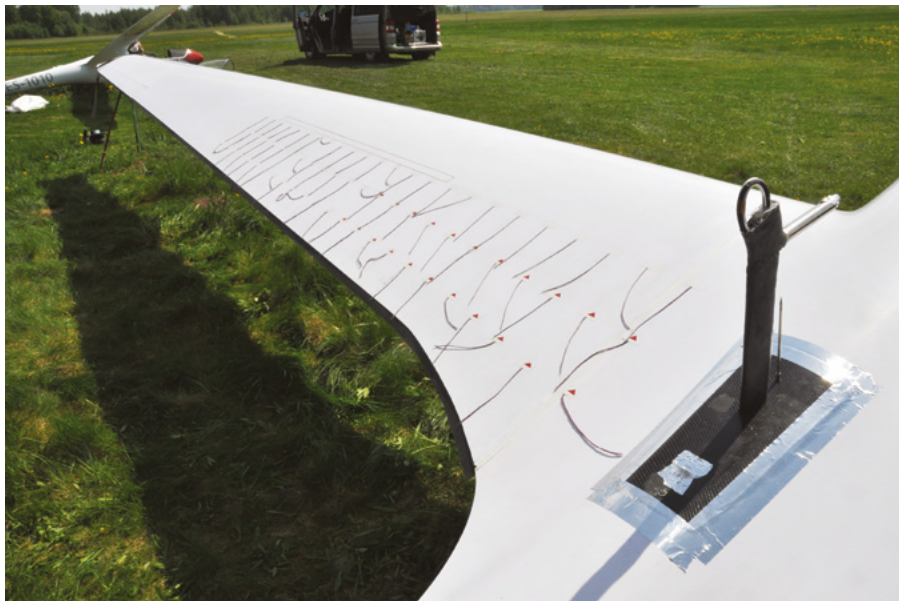
Aerodünaamikat mõjutavatel elementidel, olgu nendeks siis modifikatsioonide lisamine või uudsete materjalide kasutusele võtmine, on õhusõiduki lennuomadustele suur mõju. Õhus liikuvale kehale mõjub takistusjõud ning mida vähem aerodünaamilisem on keha, seda suurem on ka liikumist takistav jõud. Seetõttu tuleb keha kiiruse säilitamiseks teha rohkem tööd. Rääkides sellest kehast kui lennukist, võib öelda, et mida kehvema aerodünaamikaga on õhusõiduk, seda suurem on selle kütusekulu, sest kehvast aerodünaamikast põhjustatud suurema takistusjõu ületamiseks tuleb põletada rohkem kütust.

Miniklappide aerodünaamilise mõju uurimiseks on purilennukid kõige sobilikumad, sest kui jätta piloteerimisoskused kõrvale, on just nende lennukite lennuomadused ja -aeg eelkõige sõltuvad õhusõiduki aerodünaamilistest omadustest. Samuti on purilennukite omanike üheks suuremaks probleemiks lennuki sooritusvõime ja seda just aerodünaamilises mõttes. Lennukite aerodünaamiliste omaduste parendamiseks võetakse kasutusele vähem või rohkem äärmuslikke meetmeid, millest mõned täidavad oma funktsiooni hästi, teiste puhul aga ei saa nii kindel olla. Eelmainitud meetmete all võib mõista mitmeid protseduure ja modifikatsioone, olgu nendeks näiteks lennuki ja tiibade poleerimine, vahatamine või lennueelne lennuki kuivatamine kondensveest. Samuti puudub tihti peale purilenduritel ka usaldusväärne lennuandmeid salvestav seade (näiteks *EFIS* või *FDR*), millega tehtud muudatuste efektiivsust kontrollida.

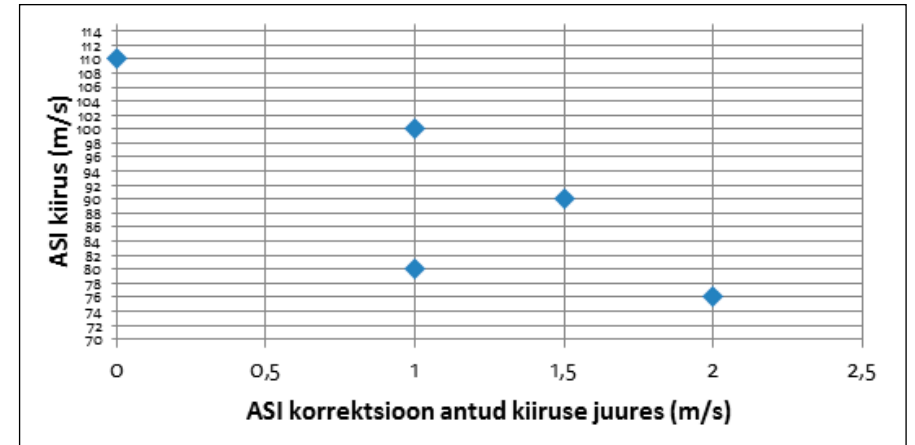
Eelnevat arvesse võttes oli autori töö eesmärgiks teostada aerodünaamilise mõju uuringu raames vajalikud ettevalmistused ning eelnevad lennukatsed, et määrata miniklappide mõju õhusõiduki Jantar Standard 3 lennuomadustele. Eesmärgi täitmiseks tutvuti varasemates teadustöodes uuritud tiivamodifikatsioonide katsetulemuste ja lennukatsetustel kasutatud mõõtemetoodikatega, koostati katseplaan, konstrueeriti miniklappid (joonis 1) ning lennuandmeid salvestava seadme *pitot'* toru jaoks modifitseeritud pagasiluuk (joonis 2).



Joonis (Figure) 1. Purilennukile Jantar Standard 3 kinnitatud miniklapid



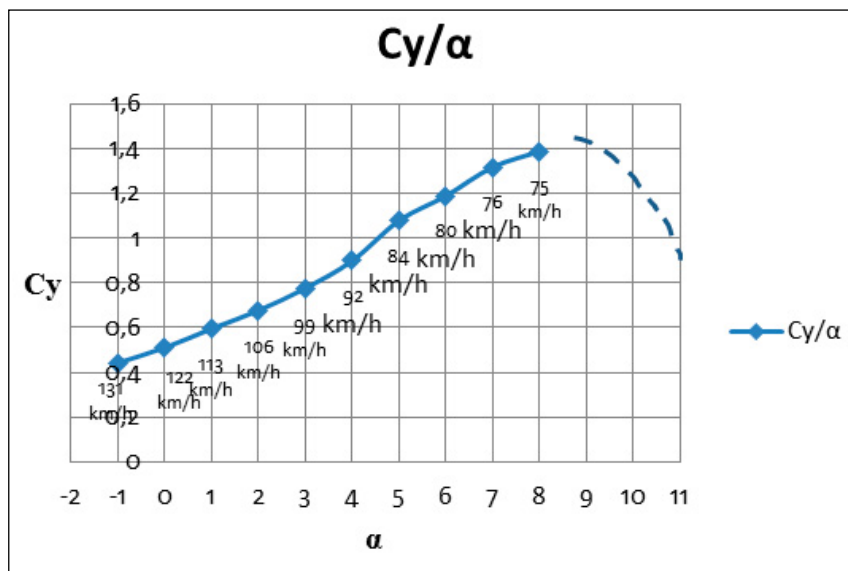
Joonis (Figure) 2. Õhusõiduki Jantar Standard 3 modifitseeritud pagasiluuk



Joonis (Figure) 3. Õhukiiruse mõõtja (ASI) kalibreerimislennu andmetest saadud korrektsiooni graafik

Uuringu raames määrati purilennuki Jantar Standard 3 ES-1004 õhukiirusenäidiku ASI ja lennuandmeid salvestava seadme EFIS näidikute mõõtevad. Kalibreerimislennu tulemusena tehti lisaks kindlaks nii õhukiirusenäidiku kui ka EFIS mõõteviga, mis tuleneb *pitot* staatilise süsteemi rõhuavade paiknemise asukohast õhusõidukil (joonis 3).

Teostati arvestuslikel lennukiirustel kohtumisnurga määramise lend, mille põhjal koostas autor tõstejõukoeffitsiendi C_y ja kohtumisnurga α omavahelise sõltuvuse graafiku (joonis 4). Antud graafik on lennukatsetuste seisukohalt olulise tähtsusega ja võimaldab pärast modifitseeritud tiivaga katselennu sooritamist hinnata miniklappide mõju purilennuki lennuomadustele.



Joonis (Figure) 4. Tõstejõukoeftsendi C_y ja kohtumisnurga α omavahelise sõltuvuse graafik

Sooritati ka mitmeid katselende, et teada saada olulised punktid purilennuki lauglemispolaaril. Paralleelset lennukatsetusmeetodit kasutades tehti kindlaks kahe sama tüüpi purilennuki Jantar Standard 3 vertikaalkiiruste erinevused arvestuslikel lennukiirustel.

Töö tulemusena võib öelda, et kõik vajalikud ettevalmistused ning eelnevad katselennud miniklappide mõju määramiseks õhusõiduki Jantar Standard 3 lennuomadustele on teostatud ning seatud eesmärgid saavutatud.

J. Kõuts. Miniklappide mõju õhusõiduki Jantar Standard 3 lennuomadustele: lõputöö, juhendaja Karl-Eerik Unt (MSc), konsultant Peep Lauk. Eesti Lennuakadeemia, Ülenurme 2013.

Kasutatud materjalide loetelu sisaldab 25 allikat.

SUMMARY

THE INFLUENCE OF MICROFLAPS ON JANTAR STANDARD 3 FLIGHT CHARACTERISTICS

Keywords: Microflaps, Jantar Standard, aerodynamics, flight characteristics, vertical speed

The purpose of this study was to make necessary preparations for the flight tests to determine microflap influence on the flight characteristics of the aircraft Jantar Standard. To fulfil this purpose previous studies of microflap influence and of methods used were examined, research and flight test plan was compiled, microflaps and a special panel for the electronic flight instrument system pitot tube were constructed and installed on the aircraft (Figures 1 and 2).

In accordance with the flight test program, several flight tests were taken with an unmodified wing to measure the sailplane performance polars and to collect the sink rate data (Figure 4). Airspeed indicator instrument error and flight data recorder error were measured with an air data test set (Figure 3). In order to determine airspeed system errors, a special calibration flight was carried out with a Kiel tube and a static bomb.

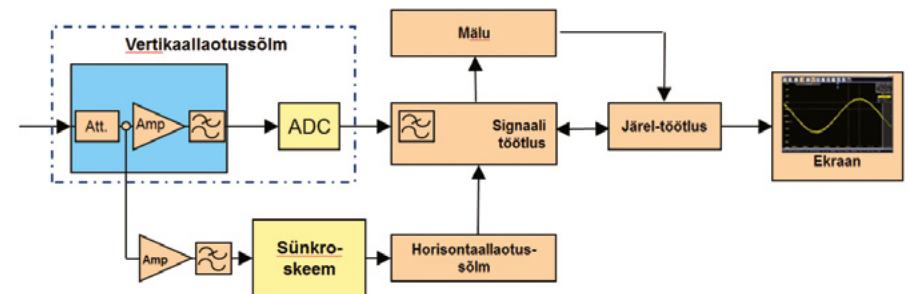
A separate flight was made to measure the speed at different angles of attack. As a result of this flight, the lift coefficient and angle of attack graph was drawn. On the basis of this research a parallel flight test was made to measure the sink rate differences between the two of the same type of Jantar Standard 3 gliders.

Märksõnad: digiostsilloskoop, spektraalanalüüs, aknafunktsioonid, ostsilloskoobi pimeaeg

Sissejuhatus

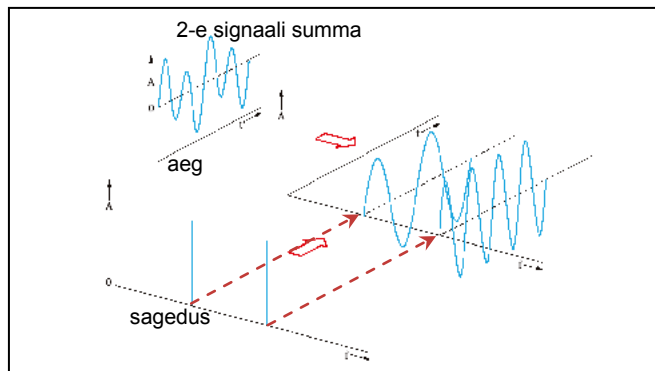
Ostsilloskoop on ajateljestikus signaali muutusi visualiseeriv mõõteriist. Digirevolutsioon on jõudnud ostsilloskoopideni – analoogostsilloskoobid on turult kadumas ja neid on tulnud asendada digiostsilloskoobid, kus sisendanaloogsignaal muundatakse digitaalseks ning seejärel töödeldakse ja visualiseeritakse. Ostsilloskoobi, sh digiostsilloskoobi üldpõhimõtteid on kirjanduses hästi käsitletud (Tamm; Oscilloscope Fundamentals v 1.1). Käesolev materjal fookuseerib digiostsilloskoobi olulistele eripäradele.

Tüüpilise digiostsilloskoobi blokkiskeem on järgmine:



Joonis 1

Ostsilloskoobi tehniline kvaliteet on paljuski määratud analoog-digitaalmuunduri (ADC, ingl *Analog Digital Converter*) ja sünkronisatsioonisõlme võimekusest ja teostusest. Kuigi ostsilloskoop on eelkõige ajateljestikus muutuvate signaalide visualiseerimiseks, siis digiostsilloskoobid võimaldavad teostada analüüsi teatud ulatuses ka spektriteljestikus. Perioodilise signaali esitust aja- ja sagedusteljestikus iseloomustab järgmine joonis.

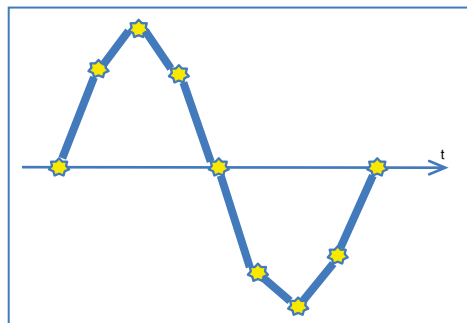


Joonis 2

Signaali digiteerimine tekitab klassikalise analoogostilloskoobiga võrreldes signaali analüüsil uusi võimalusi, aga samas ka käitumise iseärasusi. Käesoleva materjali põhirõhk ongi peamiselt suunatud digiostilloskoobi tööpõhimõttest lähtuvate iseärasuste käsitlemisele.

Digiteeritud signaali ideaalne rekonstruktsioon – $\sin(x)/x$ interpolatsioon (Orfanidis)

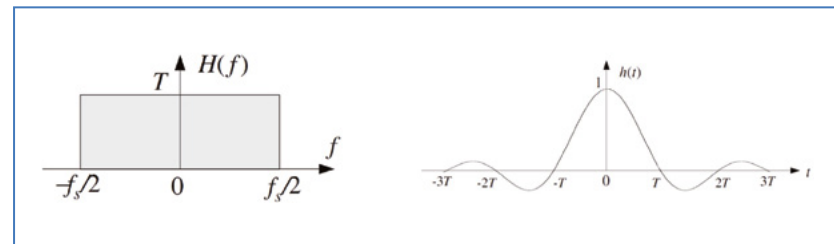
Digiteeritud signaal on regulaarse ajaintervalliga analoogsignaali võendite (ing *sample*) jada. Võendite arv on tehniliselt piiratud, mistõttu signaali visualiseerimisel ja tema „katkematuks“ esitamiseks peame võendite väärtused omavahel ühendama ehk rekonstrueerima. Ostsilloskoobi tehniline teostus peab tagama, et võenduspunktidest tuletatud signaali visualisatsioon esitaks täpselt sisendisse antud signaali. Järgnevalt näitame, kuidas seda teostada.



Joonis 3

Joonisel 3 rekonstrueeritud signaal on nurgeline, kuigi digiteeritud algsignaal oli siinus. Ilmselt on kasutatud algoritm, võendite väärtuste omavaheline ühendamine sirglõikudega, ebatäpne.

Siiski on võimalik regulaarsetest signaali võenditest rekonstrueerida esialgne signaal täpselt (Marks, 1991). Selleks tuleb võenditele rakendada ideaalset madalpääsfiltrit, mille sageduskarakteristik ja reaktsioon ühikpulsile on toodud joonisel 4.



Joonis 4

Ideaalse madalpääsfiltri reaktsiooni ühikpulsile kirjeldab Fourier pöördteisendus

$$(1) \quad h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f) e^{j2\pi f t} df = \int_{-f_s/2}^{f_s/2} H(f) e^{j2\pi f t} df$$

$$\text{ehk } (2) \quad h(t) = \frac{\sin(\pi t/T)}{\pi t/T} = \frac{\sin(\pi f_s t)}{\pi f_s t}$$

Ülaltoodust saab tuletada võrduse signaali rekonstrueerimiseks ajahetkel t

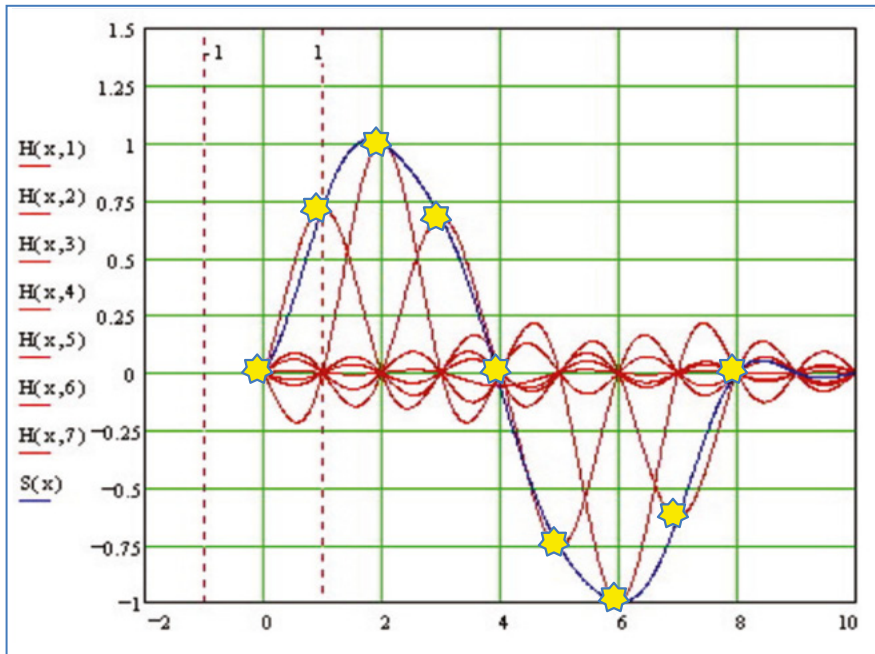
$$(3) \quad x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) \frac{\sin[\pi(f_s t - n)]}{\pi(f_s t - n)},$$

kus f_s – võendamise sagedus

$x(n)$ - n -da võendi väärtus

t – aeg

Joonis 5 visualiseerib, kuidas $\sin(x)/x$ komponentide summaga algsignaali täielikult rekonstrueerida.



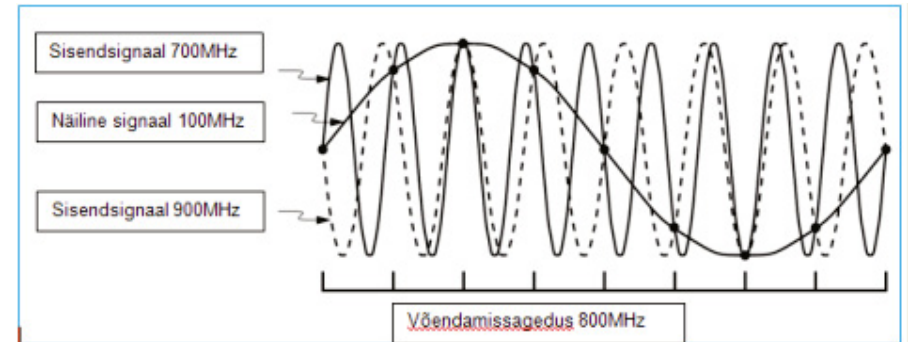
Joonis 5

$\sin(x)/x$ funktsiooni põhise interpoleerimisega saavutatakse ostsilloskoobis sisendsignaali kuju täpne taastamine ka olukorras, kus võendamissagedus on lähedane signaali sagedusele, kuid mitte väiksem kui kahekordne signaali sagedus. Paraku nõuab antud rekonstrueerimismeetod rohkem sisemist arvutusressurssi, mis võib väljenduda pikemas töötusajas.

Liigmadal võendamissagedus

(97.477 Analog Integrated Electronics: Sampled Data Basics, 2000)

Signaal on võenditest taastatav ainult juhul, kui võendamissagedus ületab mõõdetava signaali kõrgeimat sageduskomponenti vähemalt kahekordselt (nn Nyquisti – Kotelnikovi kriteerium). Juhul, kui mainitud tingimus on täitmata ehk võendamissagedus on liigmadal, siis esitab meile ostsilloskoop moondunud, reaalsest madalama sagedusega signaali ehk signaali *alias* 'e.



Joonis 6

Joonisel 6 on näha, et ühesugune signaali *alias* võib tekkida nii võendamissagedusest madalama kui ka kõrgema sagedusega sisendsignaali korral. Liigmadalaks võendamissageduse kahtlustamiseks on alust, kui signaal ei sünkroniseeru ja/või signaali mähisjoon hakkab „imelikult“ suurtes piirides kõikumata.

Vaikerežiimis valib ostsilloskoop võendamissageduse arvestades ekraani horisontaallaotuse ulatust [s] ja sisemise võendite mälu suurust.

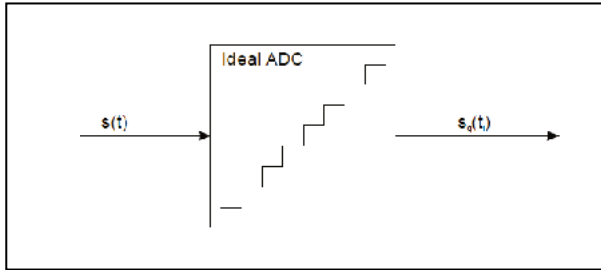
$$(4) f_s = \frac{\text{Võendite ekraanimälu suurus}}{\text{Ekraani horisontaallaotuse ulatus [s]}}$$

Näiteks ostsilloskoop TDS1000 kasutamisel, kui ekraani horisontaallaotuse ulatus on 1 ms ja võendimälu suurus on 2500 võendit, siis vähimisi on võendamissagedus väiksem kui 2,5 MHz.

Ülaltoodust järeldub – et saavutada signaali harvade, aga regulaarsete kõrgsageduskomponentide visualiseerimine, peab ostsilloskoobil olema piisavalt võendite ekraanimälu.

Efektiivne bittide arv (Schaefer, 2011)

Iseloomustamiseks visualiseeritud signaali moonutust ostsilloskoobis, kasutame signaali ebalineaarmoonutuse ja kvantiseerimismüra kvantitatiivseks mõõdupuuks ostsilloskoobi analoog-digitaalmuundi (ADC) efektiivset bittide arvu. Efektiivne bittide arv iseloomustab ADC linearsust. Efektiivne bittide arv on alati väiksem kui ostsilloskoobi sisemise analoog-digitaalmuundi eraldusvõime bittides. Enamkasutatavate ostsilloskoopide ADC eraldusvõime on 8 bitti.



Joonis 7

Lihtsaim meetod ADC-efektiivsete bittide arvu hindamiseks on mõõta muundatud siinussignaali signaal–müra suhet. Ideaalse ADC (joonis 7) täisskaala siinussignaali kvantiseerimisel kehtib signaal–müra suhte seos

(5)

$$\frac{S}{N} = 1,5 * 2^{2B},$$

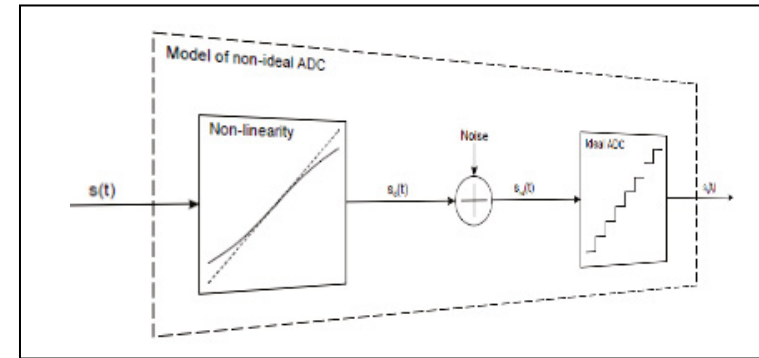
kus (S/N – signaal–müra suhe; B – ADC resolutsioon bittides).
 dB ühikutes avaldub võrduses 5 toodud signaal–müra suhe

(6)

$$\frac{S}{N} [dB] \approx 1,76 * 6,02B$$

Tuletades signaal–müra suhtest efektiivse bittide arvu, saame

$$(7) B \approx \frac{\frac{S}{N} [dB] - 1,76}{6,02}$$



Joonis 8

Reaalse ADC täisskaalale kehtib valem

$$(8) SINAD = 1,5 * 2^{2ENOB},$$

kus $SINAD$ on signaali, mis sisaldab müra ja moonutusi, suhe müra ja moonutustesse ning $ENOB$ on efektiivne bittide arv (ing *Effective Number of Bits*)
 Logaritmides võrduse 8 mõlemad pooled, saame

$$(9) \log_2 SINAD = \log_2 1,5 + 2ENOB \log_2 2$$

Tuletades viimasest $ENOB$, saame

$$(10) ENOB = 0,5 \log_2 SINAD - 0,5 \log_2 1,5$$

Juhul kui ADC-sse antakse täisskaalast väiksem signaal, siis võrdus 10 teisendub kujule

$$(11) ENOB = 0,5 \log_2 SINAD - 0,5 \log_2 1,5 - \log_2 \frac{A}{V},$$

kus A on ADC sisendsignaali väärtus [V] ja V on ADC täisskaala väärtus [V].

Pingetel on tipust-tippu väärtused.

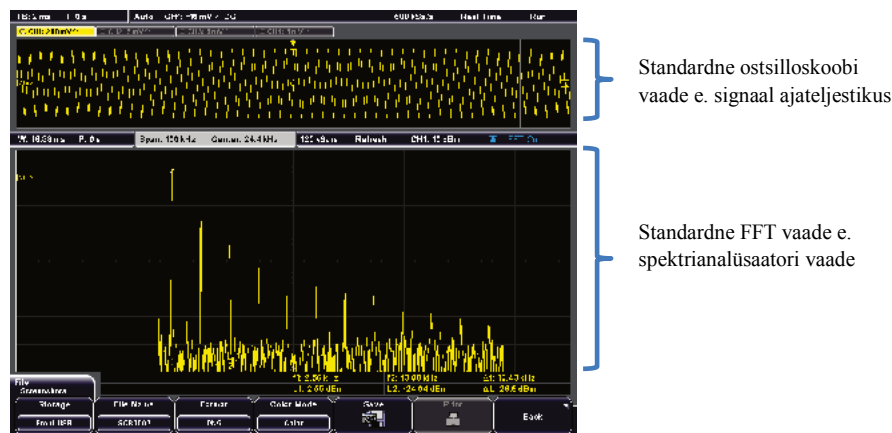
Ostsilloskoobi efektiivsete bittide arvu saame hinnata, kui anname ostsilloskoobi sisendisse puhta siinussignaali ja mõõdame tema spektrianalüüsi režiimis (vaata järgmine peatükk) signaal–müra–moonutuste suhet – tüüpiliselt põhiharmooniku ja suurima kõrgema harmooniku vahel. Saadud tulemuse paneme võrdusse 10 ja arvutame tulemuse. Tüüpiliselt on 8-bitise resolutsiooniga ostsilloskoobi reaalsed

Spektrianalüüs ostsiloskoopides

(Ruuben, Digitaalne spektraalanalüüs. Loengumaterjalid 3–4, 2012)

Digiostsiloskoopides on spektrianalüüsi funktsioon valitav kasutades „FFT“ nuppu/menüüd. Nimetus „FFT“ tuleneb ingliskeelsest terminist *Fast Fourier Transform*, mis eesti keelde tõlgituna tähendab kiiret Fourier teisendust. Kuna ostsiloskoobi spektrianalüsaatori kasutajaliides kipub lähtuma mitte standardse spektrianalüsaatori käsitlemisest, vaid pigem FFT matemaatilis-füüsikalise taustast, siis järgnevalt läbi selle prisma seda ka käsitleme.

Tüüpiline ostsiloskoobi ekraanivaade FFT režiimis näeb välja järgnevalt.



Joonis 9

FFT on sisult diskreetne Fourier teisendus (DFT), mis on sama väärtusega kordajaid grupeerides teisendatud kujule, mis võimaldab arvutusprotsessi oluliselt kiirendada, sellest ka see nimi „kiire“.

DFT meetod eeldab, et uuritav signaal oleks perioodiline, et signaali saaks teisendada siinuste (koosinuste) summaks. N võendiga DFT akent iseloomustab järgmine võrdus (Kester)

$$(12) \quad X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j \frac{2\pi nk}{N}} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \left(\cos \frac{2\pi nk}{N} - j \sin \frac{2\pi nk}{N} \right),$$

kus $X(k)$ on k -spektrijoone arvuline väärtus, kus k väärtused on vahemikus 0 kuni $N-1$;

N on signaali diskreetsete võendite arv DFT aknas; $x(n)$ on n -da võendi väärtus.

Tulemusena saame DFT spektrikomponendid $X(k)$ sagedustel k (inglise keeles kasutatakse ka terminit *frequency bin* või *FFT bin*). See, et pideva spektriga signaali DFT tulemus on diskreetne, ei pea heituma, sest diskreetne spektrijoon kannab endas signaali energiat, mis jääb ka spektrijoonte vahele – pool spektrijoonte vahet mõlemale poole spektrijoonest.

Spektrikomponentide reaalosade arvutamist DFT-meetodil illustreerib joonis 10 (joonisel on toodud 4 komponenti kaheksast). Reaaloosa arvutamiseks korreleerime signaali koosinussignaaliidega. Imaginaarosa arvutamiseks (joonisel pole näidatud) korreleerime signaali analoogselt, aga siis juba siinussignaaliidega.

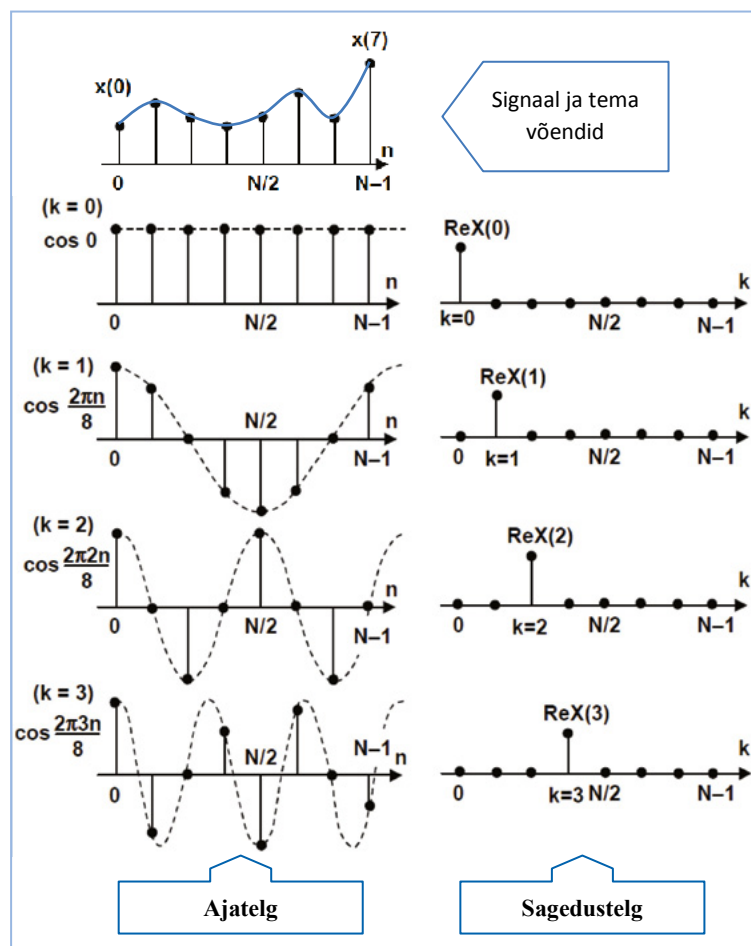
Esimene spektrikomponent $ReX(0)$ on sisendsignaali diskreetide väärtuste keskmine ja iseloomustab signaali alalis komponenti.

Teine spektrikomponent $ReX(1)$ saadakse summeerides signaali ja koosinusfunktsiooni väärtuste korrutised võendamise hetkedel, sealjuures moodustab koosinusfunktsioon aknas N ühe perioodi. Summa keskmindatakse jagades saadud summa N -ga (antud näites 8-ga).

Kolmas spektrikomponent $ReX(2)$ saadakse summeerides signaali ja koosinusfunktsiooni väärtuste korrutised võendamise hetkedel, sealjuures moodustab koosinusfunktsioon aknas N kaks perioodi. Summa keskmindatakse jagades saadud summa N -ga (antud näites 8-ga).

Neljas spektrikomponent $ReX(3)$ saadakse summeerides signaali ja koosinusfunktsiooni väärtuste korrutised võendamise hetkedel, sealjuures moodustab koosinusfunktsioon aknas N kolm perioodi. Summa keskmindatakse jagades saadud summa N -ga (antud näites 8-ga).

Viies ja kõik järgnevad spektrikomponendid arvutatakse analoogiliselt moel. Sarnaselt arvutatakse ka spektrijoonte imaginaarosa, võttes korrelatsiooni aluseks siinussfunktsiooni koosinusfunktsiooni asemel.



Joonis 10

Ülaltoodud spektrikomponentide arvutus lähtub eeldusest, et võendussageduse väärtuseks on 1. Arvestades, et otsillooskoobis on võendussageduseks f_s , muutuvad vastavalt ka spektrikomponentide väärtused

$X(0)$ spektrikomponent vastab sagedusele 0

$X(1)$ spektrikomponent vastab sagedusele f_s/N

$X(2)$ spektrikomponent vastab sagedusele $2 \cdot f_s/N$

.....

$X(k)$ spektrikomponent vastab sagedusele $k \cdot f_s/N$

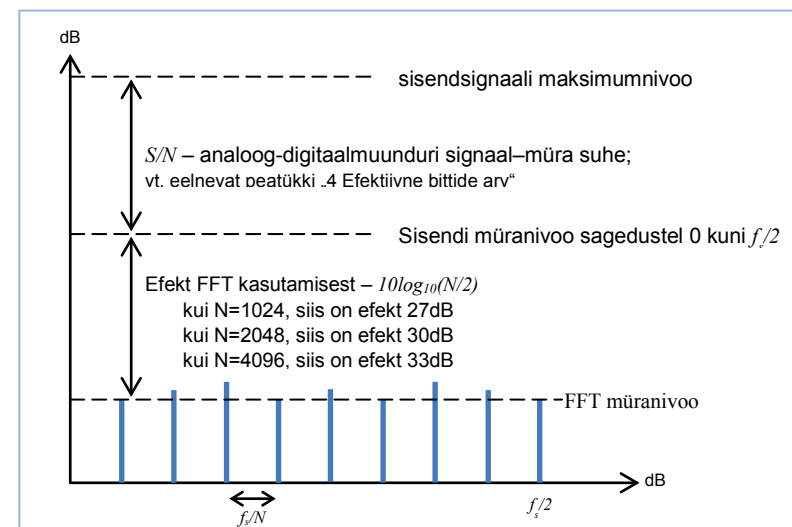
Otsillooskoop ei visualiseeri meile ei reaaloosa $\text{Re}X(k)$ ega ka imaginaarosa $\text{Im}X(k)$, vaid nende moodulit, mis on $\text{Re}X(k)$ ja $\text{Im}X(k)$ ruutkeskmise.

$$(13) |X(k)| = \sqrt{\text{Re}X(k)^2 + \text{Im}X(k)^2}$$

Lisaks eeldatakse, et otsillooskoobi sisendile antakse alati reaalne signaal, mille spekter on sümmeetriline null-sageduse suhtes, mistõttu arusaadavuse huvides visualiseeritakse otsillooskoobis ainult spektri „positiivne“ osa.

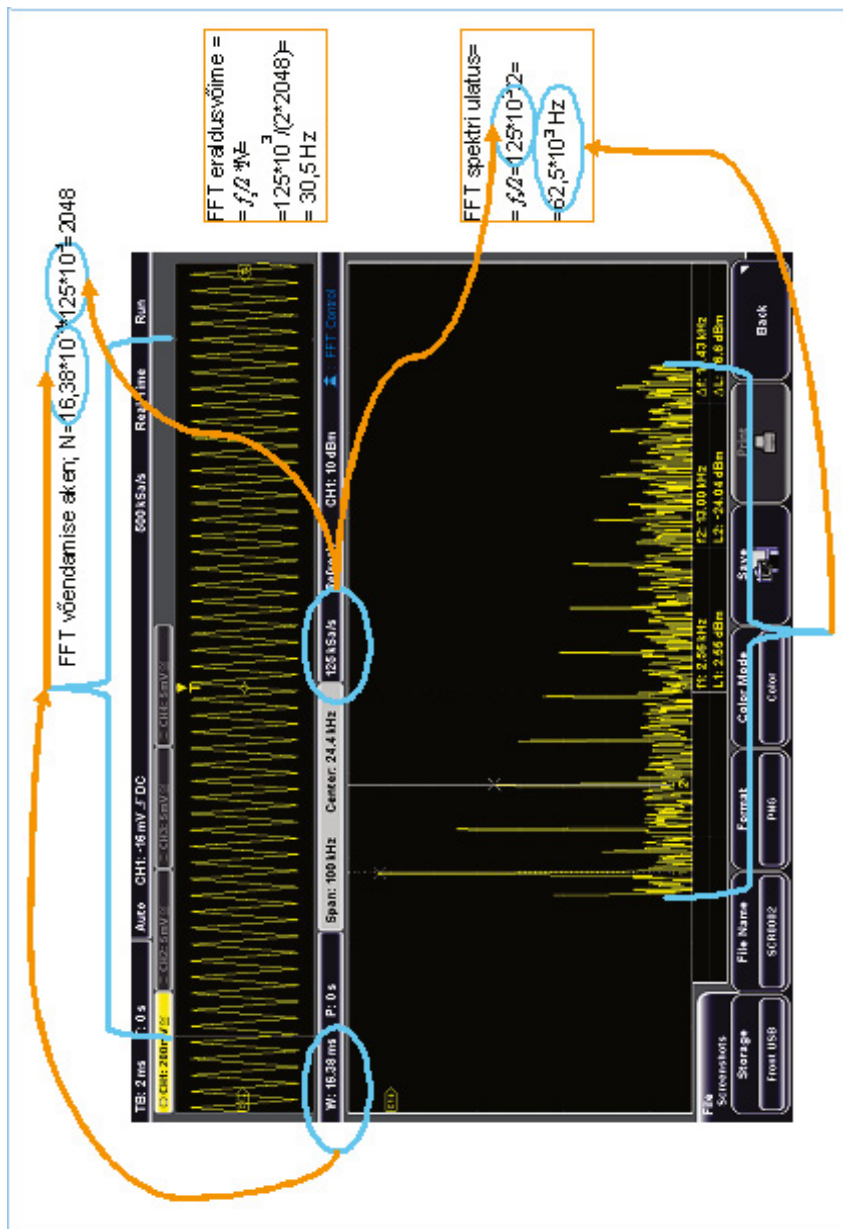
Pideva spektri DFT-meetodil sageduse mõõtmise viga on pool teisendus-tulemusena saadud sagedussammust ehk $f_s/(2 \cdot N)$.

FFT aknas võendite arvu N suurendamine tõstab FFT eraldusvõimet ja vähendab mürataset. Müratasete vähenemine on seotud ekvivalentse mürariba vähenemisega.



Joonis 11

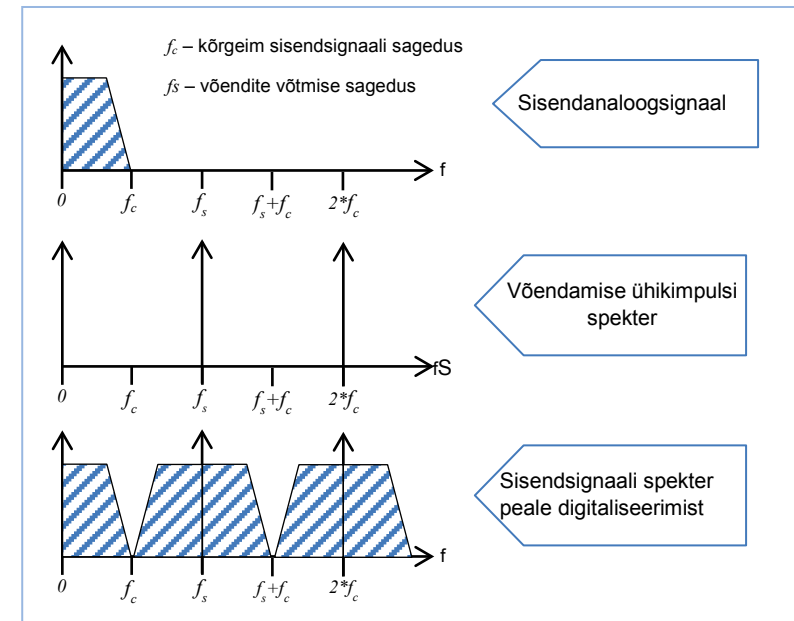
Vaatame lähemalt otsillooskoobi FFT vaadet, sealt võime välja lugeda järgmist



Joonis 12

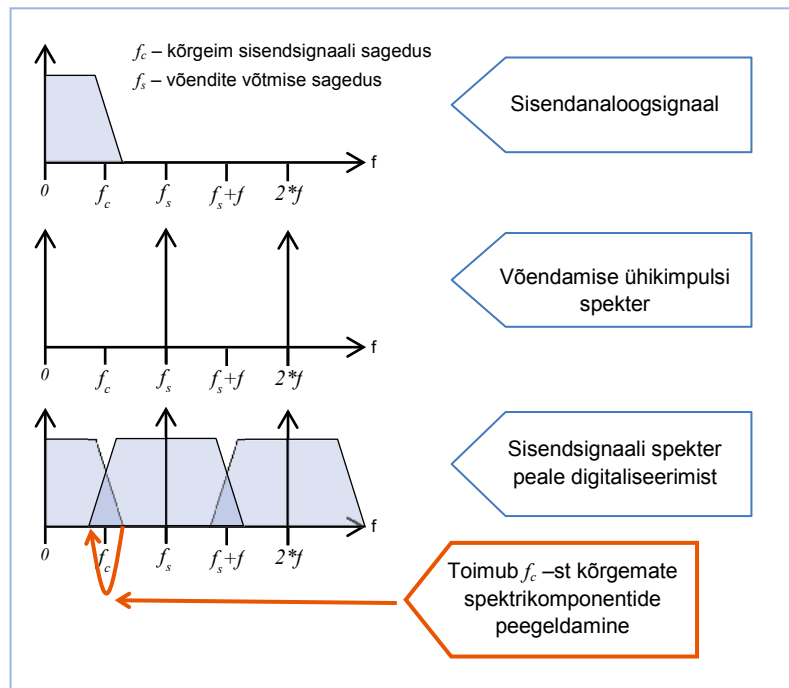
Efektid, mis ilmnevad, kui ostsilloskoobi sisendile pääsevad signaalid, mille sageduskomponendid ületavad poolt võendussagedust f_s (Introduction to FFT Analysis. Application Note. Part No. 46891/888, Issue 2, 2005)

Signaali võendamisel toimub spektriteisendus, nagu näitab alltoodud skeem.



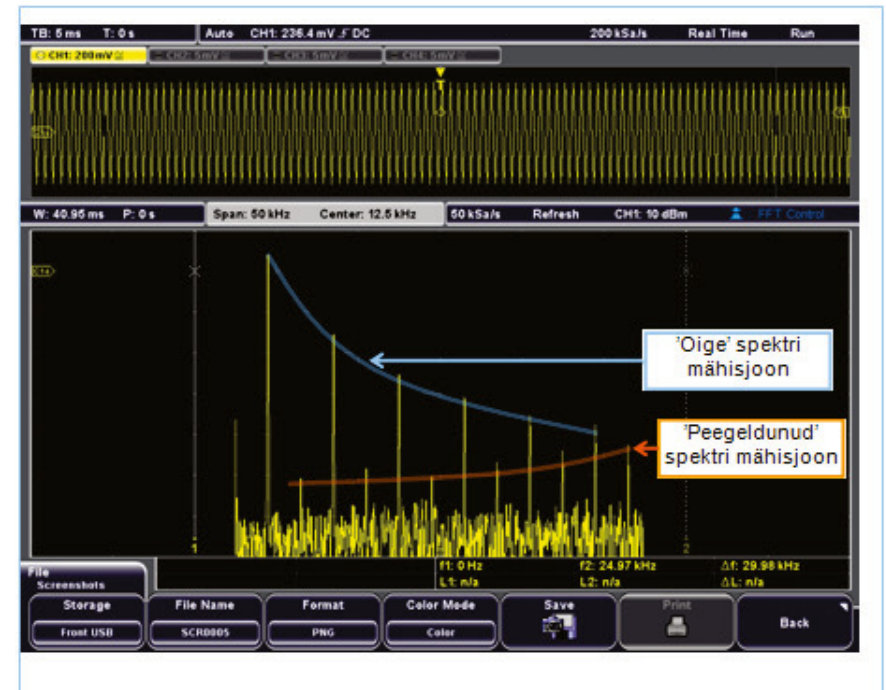
Joonis 13

Paraku olukord muutub, kui sisendspekter on laiem kui pool f_s , mida iseloomustab järgmine joonis.



Joonis 14

Spektri parasiitne „peegeldus“ on tihti esinev „probleem“ ostsilloskoobi kasutamisel mõõtmaks kõrge harmoonilise sisaldusega signaale, näiteks nelinurksignaale. Pääseteeks oleks spektri piiramine madalpääsfiltriga, paraku ostsilloskoobi sisendis tüüpiliselt selline võimalus puudub. Järgnev ostsilloskoobi ekraanipilt iseloomustab kolmnurksignaali spektri-„peegeldust“.



Joonis 15

Aknafunktsioonid

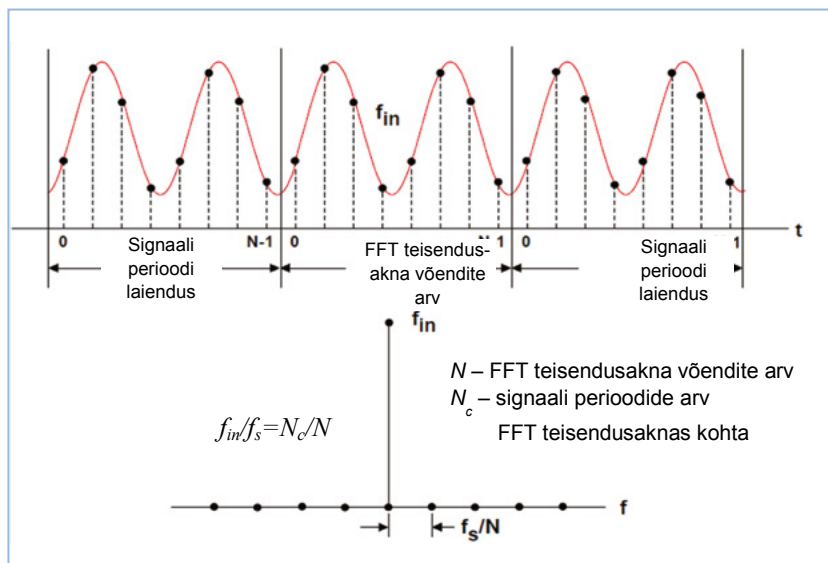
Igal digiostilloskoobil on FFT analüsaatori režiimis aknafunktsioonide valikuvõimalus. Tüüpilised valitavad aknafunktsioonid on „nelinurk“, Hamming, Hanning, Blackman. Aknafunktsioonid näivad töötavat filtrina, mis teeb spektripildi „nauditavamaks“. Matemaatiliselt on tegu spektrilekke vähendamisega.

Püüame FFT spektrileket seletada teostades siinussignaali N võendiga FFT.

Esiteks lähtume eeldusest, et

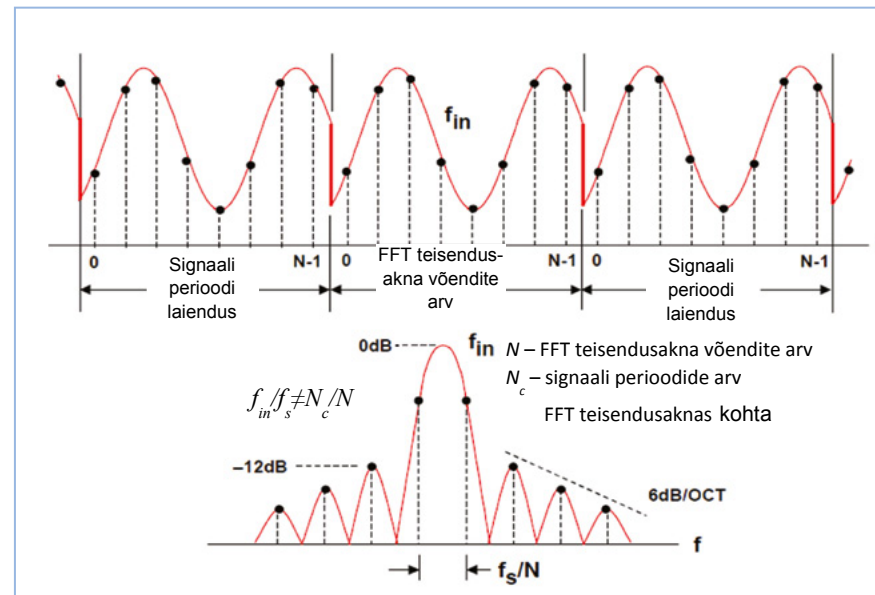
- FFT võendite arv N on sisendsignaali perioodi täisarvukordne ja
- sisendsignaali on lõputu.

Sellisel juhul oleks DFT/FFT tulemuseks üks ja ainus spektrikomponent f_{in}



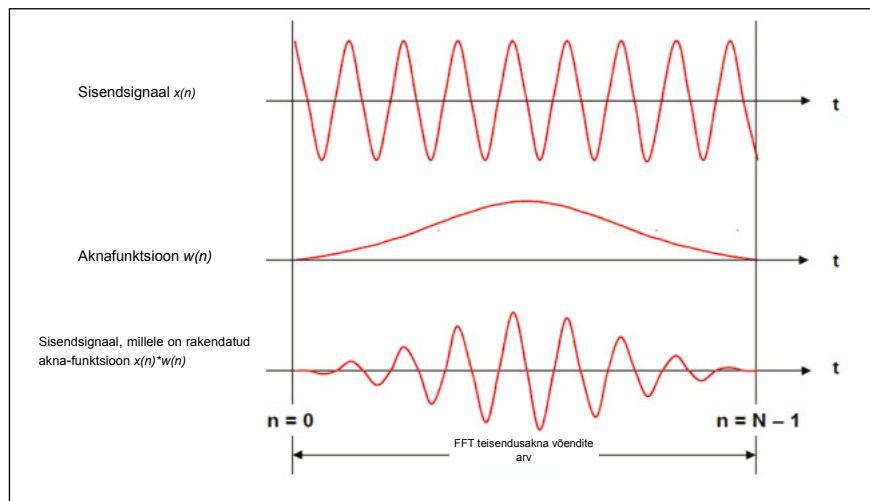
Joonis 16

Järgnevalt iseloomustame olukorda, kus FFT teisendusakna võendite arv pole siinussignaali perioodi täisarvukordne (joonis 17). Siinussignaali katkestused FFT teisendusakna alg- ja lõpppunktides tekitavad nn sageduse lekke, kuna järsud signaali muutused tekitavad harmoonikuid. Lisaks sageduse kõrvallehtedele, laotub põhileht üle mitme võimaliku spektrikomponendi. Protsess on analoogne siinussignaali läbikorrutamise nelinurksignaali, millel on iseloomulik $\sin(x)/x$ sageduskarakteristik, spektri laiali määritus ja kõrvallehed.



Joonis 17

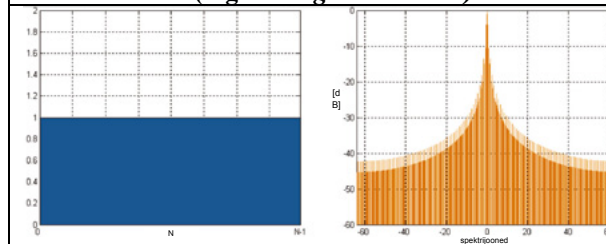
Tasub tähele panna, et esimene kõrvalleht on ainult 12 dB madalamal põhisagedusest ja ülejäänud kõrvallehed vähenevad langusega ainult 6 dB/oktavi kohta (oktav on kahekordne sageduse muutus). Antud olukord oleks sobimatu enamikes spektrianalüüsi rakendustes, sest signaali ümbrus oleks algoritmist tingituna väga müra-rikas. Kõrvallehtede minimeerimiseks, kus täpne sisendsignaali sagedus on FFT teostamiseks teadmata, kasutatakse nelinurkakna asemel muu kujuga akent (aknafunktsiooni), mis signaaliga läbi korrutades viib signaali väärtuse akna ääres nulliks või nullilähedaseks. Aknafunktsioon on alati kompromiss spektri pealehe „laialimäärituse“ ja kõrvallehtede languse kiiruse vahel.



Joonis 18

Järgnevalt on toodud mõned ostilloskoopides kasutatavad/valitavad aknafunktsioonid ja nende iseloomulikud omadused (tabel 1).

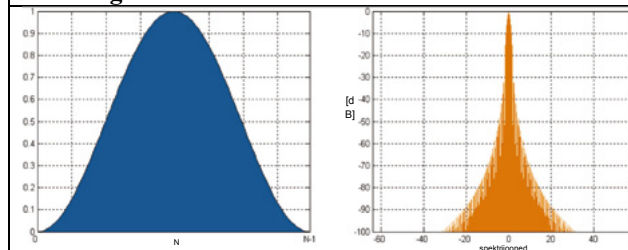
Nelinurk aken (ing *rectangular window*)



Lihtsaim akna-funktsioon, kus aken toimib „lülitina“. Kõige „teravama“ sagedusarakteristikuga e. sageduste eraldusvõime on kõige parem.

$$w(n) = 1$$

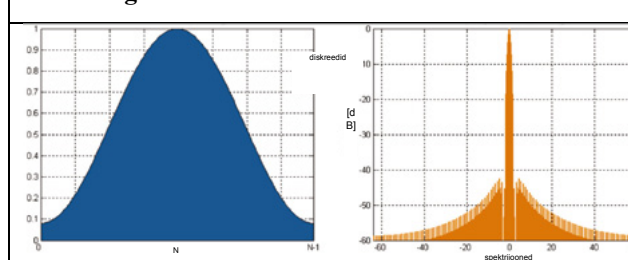
Hanningi aken



See on aknafunktsioon, kus signaali väärtus vähendatakse nulliks akna ääres nii, et sageduste kõrvallehed väheneksid 18 dB/okt.

$$w(n) = \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi n}{N-1} \right)$$

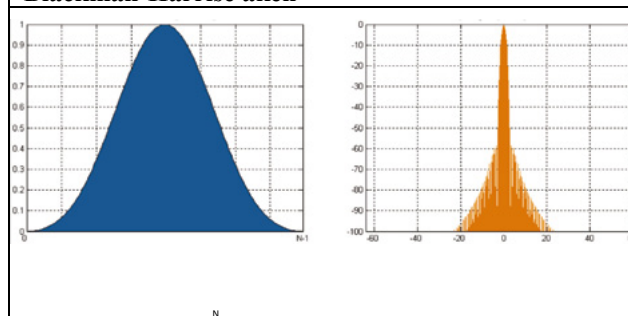
Hammingi aken



See on aknafunktsioon, kus sageduste esimene külglehe paar nullitakse.

$$w(n) = 0,54 - 0,46 \cos \frac{2\pi n}{N-1}$$

Blackman-Harrise aken



See aknafunktsioon on optimeeritud sageduste kõrvallehtede minimeerimiseks

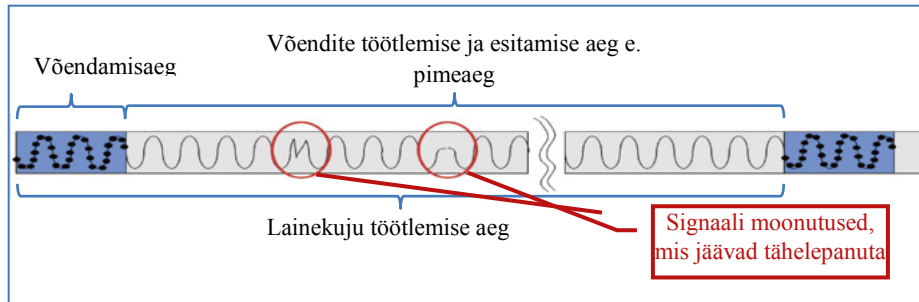
$$w(n) = 0,36 - 0,49 \cos \frac{2\pi n}{N-1} + 0,14 \cos \frac{4\pi n}{N-1} - 0,01 \cos \frac{6\pi n}{N-1}$$

Spektrianalüüsi kokkuvõtteks

Võrreldes tavalise spektrianalüsaatoriga, tuleb ostsilloskoobi FFT funktsiooni kasutades arvestada piirangutega, näiteks vaadeldava spektri ulatus on seotud poole võendamissagedusega. Soovides „suumida“ madalate sageduste otsa, ehk vähendada visualiseeritavat sagedusulatust vähendame me ka võendamissagedust. See omakorda võib viia parasiidsete signaali harmoonikute „peegeldumisele“ spektrisse. Seega FFT kasutamisel tuleb tähelepanelikult jälgida ülalmainitud seoseid.

Ostsilloskoobi pimeaeg

Ostsilloskoobi kasutajana eeldame, et kõik signaali ebaregulaarsed muutused meile koheselt visualiseeritakse. Paraku võib lihtsalt juhtuda olukord, kus meid huvitaval ajahetkel sisendsignaali kogumise asemel tegeleb ostsilloskoop hoopistükkis selle töötlemise ja visualiseerimisega ja meid huvitav signaalilõik jääbki meile näitamata. Sellise käitumise kvantitatiivseks iseloomustamiseks on võetud kasutusele ostsilloskoobi pimeaja määratlus – aeg, kus ostsilloskoop signalist võendeid ei võta, vaid tegeleb võendite töötlemise ja esitamisega ehk ostsilloskoop on sisendsignaale „pime“. Analoo-ostsilloskoopides on pimeaeg seotud ainult elektroniire tagasijooksuajaga ja seetõttu pole võrreldes digiostsilloskoopidega pimeaeg üldiselt probleemiks.



Joonis 19

Tüüpiliselt võib digiostsilloskoopides võendamisaeg olla oluliselt lühem võendite töötlemis- ja esitamisaegast. See tähendab, et kui meil signaalis esinevad võendite töötlemis- ja esitamisajal meid huvitavad ebaregulaarsused, siis tõenäosus neid leida on väike. Seda iseloomustab ka joonis 19.

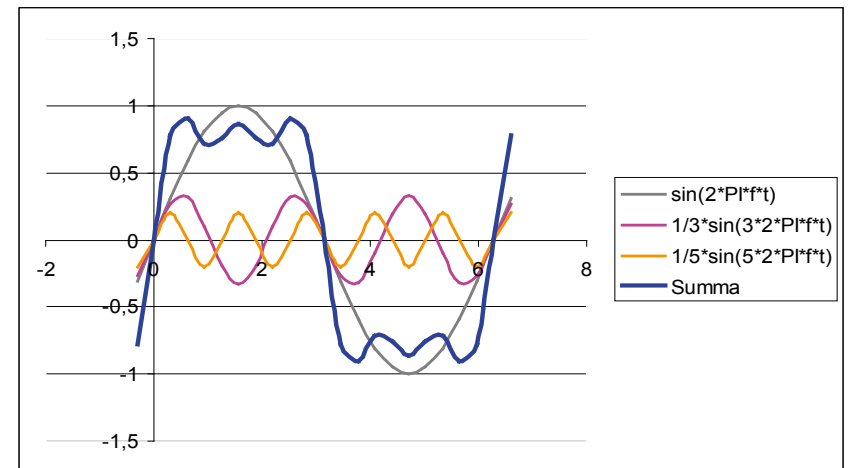
Näiteks, kui kasutame ostsilloskoopi TDS1002 režiimis, kus võendamisaeg on 100ns, siis arvestades signaali võendite töötlemisaega, mis antud mudelil on 5 ms, saame tulemuseks, et 99,998% ajast sisendsignaali ei analüüsiks ei koguta.

Digiostsilloskoopidel spetsifitseeritakse lainekuju töötlemise võimekus lainekuju töötlemise sagedusena (ing *waveforms per second*).

Mõned üldised ostsilloskoobe puudutavad küsimused

Ostsilloskoobi pääsu- ehk sagedusriba

Ostsilloskoobi pääsuriba peab olema piisav, et signaali kõrgsageduskomponendid ei sumbuks. Signaali kõrgsageduskomponentide sumbumine avaldub signaali kuju muundumises, näiteks nelinurksignaali kasvu/langusaegade pikenemises. Ostsilloskoobi pääsuriba spetsifitseeritakse sagedusena, mille juures nullsageduse suhtes kukub nivoo 3 dB (pinge suhtes tasemele 0,707). Kõige tuntavamalt moonduvad piiratud pääsuriba tõttu kõrge harmoonilise sisaldusega signaalid nagu näiteks nelinurk pulsssignaalid. Joonisel 20 on näidatud sinise joonena, milliseks kujuneb nelinurksignaali kui pääsuribaks on nelinurksignaali 5x kordussagedus.



Joonis 20

Üldiselt peetakse heaks tavaks, et ostsilloskoobi sagedusriba on vähemalt 5 korda kõrgem sisendsignaali maksimaalsest kordussagedusest.

Viited

- 1) Uljas Tamm. Mõõdetehnika alused. TTÜ Kuressaare Kolledž http://setcom.ee/tanno/info/is/teave/ained/moo/moo_ele_alu_ttu_muud_elektronikamootmised.pdf
 - 2) Robert J. Marks II, Introduction to Shannon Sampling and Interpolation Theory, Springer-Verlag, New York, 1991.
 - 3) Dr. Andrew Schaefer. The Effective Number of Bits (ENOB) of my R&S Digital Oscilloscope. Technical Paper. April 2011-1ER03_1e. http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_application/application_notes/1er03/ENOB_Technical_Paper_1ER03_1e.pdf
 - 4) Fast Fourier Transforms. Section 5. http://www.analog.com/static/imported-files/seminars_webcasts/MixedSignal_Sect5.pdf
 - 5) Introduction to FFT Analysis. Application Note. Aeroflex. Part No. 46891/888, Issue 2, 07/05; <http://www.aeroflex.com/ats/products/prodfiles/appnotes/192/888a.pdf>
 - 6) Sophocles J. Orfanidis. Introduction to Signal Processing. Rutgers University. <http://www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/intro2sp>; <http://eceweb1.rutgers.edu/~orfanidi/intro2sp/orfanidis-i2sp.pdf>
 - 7) 97.477 Analog Integrated Electronics: Sampled Data Basics. Sample And Hold. Winter 2000. <http://www.doe.carleton.ca/~cp/analog/sampl00b.frm.pdf>
 - 8) Oscilloscope Fundamentals. Version 1.1. Rohde & Schwarz USA, Inc. [ftp://entc.tamu.edu/entc%20352%20and%20452/_FLEX%20materials%20students%20\(ENTC%20352%20&%20452\)/MODULES%20FLEX%20SELF%20STUDY%20as%20needed/Self%20Study_Oscilloscope-Fundamentals_v1.1.pdf](ftp://entc.tamu.edu/entc%20352%20and%20452/_FLEX%20materials%20students%20(ENTC%20352%20&%20452)/MODULES%20FLEX%20SELF%20STUDY%20as%20needed/Self%20Study_Oscilloscope-Fundamentals_v1.1.pdf)
 - 9) Toomas Ruuben. DIGITAALNE SPEKTRAALANALÜÜS. Loengumaterjal 3. TTÜ Raadio ja sidetehnika Instituut. http://www.lr.ttu.ee/spekter/2012sygis/DIGISPEKTER_3.pdf
 - 10) Toomas Ruuben. DIGITAALNE SPEKTRAALANALÜÜS. Loengumaterjal 4. TTÜ Raadio ja sidetehnika Instituut. http://www.lr.ttu.ee/spekter/2012sygis/DIGISPEKTER_4.pdf
-