

**MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU**

**ALKEISLENTOKOULUTUSSIMULAATTORIN KOULUTTAJAN YMPÄRISTÖ JA  
LENTOMALLI**

Kandidaatintutkielma

Kadettikersantti  
Mikko Luukkanen

Kadettikurssi 93  
Ilmasotalinja

Huhtikuu 2009

## MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi	Linja
Kadettikurssi 93	Ilmasotalinja
Tekijä	
Kadettikersantti Mikko Luukkanen	
Tutkielman nimi	
<b>Alkeislentokoulutussimulaattorin kouluttajan ympäristö ja lentomalli</b>	
Oppiaine, johon työ liittyy	Säilytyspaikka
Sotatekniikka	Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika 26.04.2009	Tekstisivuja 27      Liitesivuja 8

### TIIVISTELMÄ

Simulaattorikoulutuksen osuutta lentokoulutuksessa on teknisen kehityksen myötä voitu lisätä merkittävästi. Alkeislentokoulutuksessa simulaattoreita käytetään kuitenkin edelleen vain vähän ja laitteistot ovat suorituskyvyltään hyvin vaihtelevia.

Ilmavoimien alkeislentokoulutuksessa nykyisin käytettävät simulaattorit ovat jääneet kehityksestä jälkeen, vaikka jatkokoulutuksessa synteettiseen koulutukseen on panostettu hyvin paljon. Tutkielmassa pyritään hakemaan perusteet uuden laitteiston toteuttamiseksi low cost -konseptin pohjalta sekä tutkimaan käyttömalleja, joilla uusia mahdollisuuksia voidaan hyödyntää mahdollisimman täysipainoisesti. Tutkielmassa on kuvattu esimerkki kouluttajan ympäristön teknisestä toteutuksesta.

Tutkimus perustuu lentopalveluksen avainhenkilöstön haastatteluihin sekä siviilissä että sotilaspuolella. Suorituskykyvaatimusten pohjana käytetään nykyisiä lentokoulutusohjelmia, ja tieteellistä lähdeaineistoa täydentävät ilmailumääräykset sekä erilaisista simulaattorilaitteistoista kerätyt kokemukset. Tutkimuskokonaisuutta täydentää kadetti Jussi Nokso tutkielmassaan SK1052 keskittyen alkeislentokoulutussimulaattorin ohjaamon rakentamiseen sekä graafiseen mallinnukseen.

Johtopäätöksenä todetaan nykyaikaisen kaupallisen lentosimulaatio-ohjelmiston sopivan ominaisuuksiltaan varsin hyvin alkeislentokoulutussimulaattorin pohjaksi. Opettajan position toteuttamiseksi esitetään ratkaisumalli ja uuden simulaattorin ominaisuuksien todetaan tehostavan oppimisprosessia etenkin, jos lentokoulutusohjelmaa muutetaan vastaamaan uuden simulaattorin tarjoamia mahdollisuuksia.

## AVAINSANAT

Ilmavoimat, lentokoulutus, simulaattorit, alkeislentokoulutussimulaattori

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. KÄSITTEIDEN JA LYHENTEIDEN MÄÄRITTELY.....	3
3. SIMULOITU OPPIMISYMPÄRISTÖ .....	5
3.1. Simulaattorit alkeislentokoulutuksessa .....	5
3.2. Simulaattorit jatkokoulutuksessa.....	8
4. SIMULAATIO-OHJELMISTO JA LENTOMALLI .....	8
4.1. Lentomallille asetettavat vaatimukset .....	9
4.2. Ohjainmallinnus .....	11
4.3. Lentoarvojen mallintaminen Flight Simulator ESP –ohjelmistossa.....	12
4.4. Tehtävähallintaohjelmisto .....	13
5. LENTOTEHTÄVIEN MÄÄRITTELY.....	14
5.1. Simulaattorilentokoulutusohjelma.....	15
5.2. Lentotehtävän aikainen vaikuttaminen koulutustapahtumaan.....	17
5.3. Oppilaiden omatoiminen harjoittelu.....	18
5.4. Arviointi .....	20
6. KOULUTTAJAN YMPÄRISTÖ .....	21
6.1. Toteutus .....	23
6.2. Simulaattorien verkottaminen .....	24
7. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	26
LÄHTEET.....	28
LIITTEET .....	31

# ALKEISLENTOKOULUTUSSIMULAATTORIN KOULUTTAJAN YMPÄRISTÖ JA LENTOMALLI

## 1. JOHDANTO

Simulaattoreiden käyttö lentokoulutuksen apuvälineenä juontaa juurensa ilmailun alkuaikoihin. Digitaalitekniikan myötä näistä alkujaan monimutkaisista ja varsin kalliista laitteista on sittemmin päästy tasolle, jossa kotitietokoneella voidaan harjoitella lentämistä lähes millä tahansa lentokoneella, eri kentillä ja vaihtelevissa sääolosuhteissa. Toisaalta ilmailualan ammattilaisten koulutukseen tehdyt laitteet ovat edelleenkin hyvin vaikuttavia kokonaisuuksia ollen jopa kalliimpia kuin mallinnettavat lentokoneet.

Kaikilla ilmailun aloilla tapahtunut tasaisen jyrkkä kustannusten nousu on osaltaan lisännyt tarvetta synteettisen oppimisympäristön kehittämiseksi. Öljyn hinnannousu ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen luovat tulevaisuudessa entistäkin kovempia paineita leikata lentokoulutusohjelmien ilma-aikaa, jonka korvaamiseen tarvitaan entistä realistisempia simulaattoreita – myös alkeislentokoulutuksessa.

Tämän tutkimuksen päämääränä on selvittää millainen simulaattorijärjestelmä edesauttaa parhaiten lentokoulutuksellisten tavoitteiden saavuttamista. Rajauksena käytetään ilmavoimien Vinka-kalustolla annettavaa alkeis- ja peruslentokoulutusta, ja simulaatiojärjestelmän osalta keskitytään low cost -konseptin mukaiseen laitteistoon. Tällä tavoin huomioidaan erityisesti nykyisen lentokaluston elinkaaren lähestyminen loppuaan, jolloin simulaattorijärjestelmät tulee todennäköisesti muuttaa vastaamaan hankittavia lentokoneita. Todennäköisesti simulaatio-ohjelmistojen nopean kehittymisen takia aihealuetta ei ole vielä tutkittu tästä näkökulmasta. Tavoite palvelee tulevien järjestelmien kehitystyötä ja perustuu työn tilaajan Patria Systemsin tehtävänantoon.

Tutkimuskysymykset ovat määritetty tehtävänannon mukaisesti ja niiden avulla pyritään tuottamaan perusteet mahdollisen uuden simulaattorin suunnittelulle. Pääkysymys on: ”Soveltuuko low cost -simulaattori simulaatio-ohjelmiston ja lentomallin osalta osaksi ilmavoimien alkeislentokoulutusta”. Tästä johdettuna apukysymykset kuuluvat: ”Millainen opettajan position konsepti edesauttaa tehokasta oppimisprosessia” ja ”kuinka uusi tekninen alusta tulee huomioida lentokoulutusohjelmassa”. Ihmisen ja teknisen laitteen rajapintaa tasoitetaan lentokoulutusohjelman suunnittelun kautta pyrkimyksenä hyödyntää uuden laitteiston tarjoamat mahdollisuudet oppimisprosessissa.

Tutkimustyön ensimmäisessä osiossa käsitellään simulaattorikoulutuksen yleisiä peruseriaatteita. Lentokoulutuksen osalta käydään läpi simulaattorien käyttöä siviili- ja sotilaspuolella. Simulaatio-ohjelmisto -kappaleessa selvitetään simulaatio-ohjelmistolle asetettavia suorituskykyvaatimuksia ja kaupallisen lentosimulaattorihjelmiston vastaavuutta suhteessa niihin. Kouluttajan ympäristön toteuttamiseksi esitetään esimerkinomainen konsepti ja lentotehtävien määrittelyn yhteydessä tarkastetaan nykyisten lentokoulutusohjelmien sisältöä suhteessa uudenikäisen simulaattorin tuomiin mahdollisuuksiin.

Tutkimuskokonaisuutta täydentää kadetti Jussi Nokson tutkimustyö: ”Alkeiskoulutussimulaattorin oppilaan ympäristö”. Siinä käsitellään simulaattorilaitteiston ohjaamokokonaisuuden toteutusta ja tarvittavia grafiikkamalleja. Aihealueet ovat osittain päällekkäisiä ja tekijät ovat tehneet yhteistyötä yhteensopivan ratkaisumallin löytämiseksi.

Tutkimus perustuu lentokoulutuksen asiantuntijoille ja esimiehille suoritettuihin haastatteluihin sekä aineistoanalyysiin. Tieteellistä lähdeaineistoa täydentävät teknillinen kirjallisuus ja lentokoulutusohjelmat. Vierailuja ja laitteistoihin tutustumisia on suoritettu muun muassa Ruotsin ilmavoimien lentokouluun Linköpingissä ja Karjalan Lennostoon Siilinjärvellä. Kokemuksia siviili- ja sotilasilmailusta on kerätty oppilaan näkökulmasta vuodesta 2001 lähtien.

## 2. KÄSITTEIDEN JA LYHENTEIDEN MÄÄRITTELY

### Lentokoulutukselliset käsitteet

ATPL	Air Transport Pilot License Liikennelentäjän lupakirja
CPL	Commercial Pilot License Ansiolentäjän lupakirja
Debrief	Lennon jälkeen suoritettava tehtävän läpikäynti
Hawk, HW	Bae MK 51(/A) suihkuharjoituskone
HW1	Hawk peruslentokoulutusohjelma
IR	Instrument Rating Mittarilentokelpuus
JAR	Joint Aviation Requirements Yhteiseurooppalaiset ilmailumääräykset
Peruslentokoulutus	Sotilasilmailussa VN1 ja VN2 lentokoulutusohjelmat, eli Vinkalla tapahtuva lentokoulutus. Siviilissä yksityislentäjän lupakirjaan tähtäävä koulutus
PPL	Private Pilot Licence Yksityislentäjän lupakirja
Vinka, VN	Valmet L-70 ”Vinka” alkeiskoulutuslentokone
VN1	Ilmavoimien alkeislentokoulutusohjelma, eli lentoreserviupseerikurssin aikainen valintaohjelma
VN2	Ilmavoimien suihkukonekoulutukseen valmistava lento-ohjelma
WS1	Hawk tyyppilentoja edeltävä simulaattorilentokoulutusohjelma

### Simulaattoreihin liittyvät käsitteet

BITD	Basic Instrument Training Device Mittarilennon koulutuslaite
BTD	Basic training device Yksinkertainen koulutuslaite
DTT	Deployable Tactics Trainer Siirrettävä taktiikan koulutussimulaattori
FFS	Full Flight Simulator Lentosimulaattori, jolla voidaan harjoitella kaikkia lentotiloja ja tehtäviä [10].
FNTP	Flight and Navigation Procedures Trainer Simulaattoriluokitus visuaalijärjestelmällä varustettu koulutuslaite
FS ESP	Flight Simulator ESP lentosimulaattoriohjelmisto
IOS	Instructor Operating Station Opettajan positio tai -työpiste
Link-trainer	GAT-1 tyyppinen harjoittelulaite Vinka -modifikaatiolla
Low cost -konsepti	Valmiisiin ja kaupalliseksi suunniteltuihin komponentteihin perustuva kokonaiskustannuksiltaan edullinen laitteisto
Simulaattori	Jäljitelmä laitteesta tai teknisestä järjestelmästä, jota käytetään tietyn yhden tai useamman ihmisen toimesta tietyn tavoitteen saavuttamiseksi [18]
STD	Synthetic Training Device Synteettinen koulutuslaite
WTSAT	Weapons Tactics and Situational Awareness Trainer

WTT Suorituskykyisellä visuaalijärjestelmällä varustettu kiinteä F-18 -  
ilmataistelusimulaattori  
Weapon Tactics Trainer  
Pallotyyppisellä visuaalilla varustettu F-18 -  
ilmataistelusimulaattori

Muita käsitteitä ja lyhenteitä

HOTAS Hands On Throttle And Stick  
Ohjaussauvaan ja kaasuvipuihin liitetty hallintalaitteisto  
SDK Software Development Kit  
Ohjelmistomodifikaatioiden luomiseen käytettävä ohjelmisto



### 3. SIMULOITU OPPIMISYMPÄRISTÖ

Yleisellä tasolla simulaattorien käyttö perustuu kokemusperäisen oppimisen mahdollistamiseen hallituissa olosuhteissa [18]. Tätä periaatetta on hyödynnetty erilaisten simulaattorien muodossa eri koulutusaloilla, metsäkoneista avarussukkuloihin.

Erilaisia lentosimulaattoreita on ollut käytössä jo ilmailun alkuaajoista lähtien. Näiden vuosisadan alussa käytössä olleiden mekaanisten viritelmien mallinnus oli tasoa, jolla pystyttiin hyvin rajoitetulla tasolla harjoittelemaan lentolaitteen ohjainliikkeitä, joita tarvittiin koneen ilmassa pitämiseksi [10]. Synteettinen, eli keinotekoinen lentämisen harjoittelu, oli alkeellisista järjestelmistä huolimatta tärkeässä roolissa, sillä jo ensimmäiset lennot oikealla koneella oli suoritettava yksinlentoina ilman opettajan mukanaoloa. Nykyään turvallisuuskysymysten rinnalla yhä tärkeämpään rooliin on noussut koulutusprosessin kustannusten hallinta, joka lisää osaltaan tarvetta tehostaa oppimisprosessia maassa.

Synteettinen koulutus rakentuu pitkälti teknisen laitteen ympärille, mutta siihen vaikuttavat oleellisesti myös inhimilliset tekijät. Ihmisten osuutta ja simulaattorin käyttöperiaatteita käsitellään tässä tapauksessa lentotehtävien määrittelyn yhteydessä. Patria Systemsin tehtävänannon mukaan koko aihealue on jaettu pääkomponenttien mukaan seuraavasti: ohjaamokokonaisuus, visuaalijärjestelmä, simulaatio-ohjelmisto ja lentomalli sekä kouluttajan ympäristö ja lentotehtävien määrittely [17]. Oppilaan ympäristön ja visuaalimallin osuuden käsittelee kadetti Jussi Nokso omassa tutkielmassaan SK1052.

#### 3.1. Simulaattorit alkeislentokoulutuksessa

Ilmavoimien alkeislentokoulutuksessa on jo useamman vuosikymmenen ajan käytetty Link Trainer -tyyppistä harjoittelulaitetta. Kyseinen laitteisto koostuu osittain Vinka-konetta mallintavasta suljetusta ohjaamoympäristöstä sekä laitetta käyttävästä sähkö-pneumaattisesta koneistosta [6]. Visuaalijärjestelmää ei ole, mutta visuaalilentämisen harjoittelu onnistuu rajoitetusti liikejärjestelmän sekä ulkoisten näkymien avulla [22].

Suurimpia rajoittavia tekijöitä nykyisessä laitteistossa ovat liikejärjestelmän asettamat rajoitukset pituus- ja poikittaiskallistuskulmalle, visuaalijärjestelmän puute sekä ohjaamomallin sopimattomuus toimenpideharjoitteluun [4, 22]. Näiden seikkojen vuoksi laitteiston käyttö rajoittuu lähinnä perus- ja mittarilentämiseen sekä menetelmäharjoitteluun [22, 23]. Laitteiston ikääntymisen myötä käyttövarmuus on oleellisesti heikentynyt ja huoltokustannukset nousseet siinä määrin, että laitteiston uusiminen tulee suorittaa mahdollisimman nopeasti [4].



*Kuva 1. Ilmavoimien Link-trainer -koulutuslaite. Ikääntyneessä laitteessa ei ole visuaalijärjestelmää, mutta visuaalilentämisen perusteita voidaan harjoitella liikejärjestelmän ja hallin seinään sijoitetun horisonttiviivan avulla.*

Siviilikouluissa käytettävät alkeis- ja peruslentokoulutuslaitteet ovat olleet ominaisuuksiltaan pitkälti vastaavaa BTD (Basic Training Device) -tasoa, mutta viime vuosina laitteistoja on päivitetty ajanmukaisimmiksi. Uusimmat laitteet pohjautuvat entistä enemmän ajanmukaiseen PC-tekniikkaan, jonka avulla on päästy enimmässä määrin eroon vanhoille laitteille ominaisesta vikaherkästä ja monimutkaisesta mekaniikasta. Visuaalit ja lentomallit ovat niin ikään kehittyneet kaikenasteisissa laitteissa, joskin siviilissä simulaattorikoulutuksen pääpaino on selkeästi jatko- ja ammatillisessa koulutuksessa [2].

Siviilikouluissa käytettävien laitteistojen on oltava siviili-ilmailuviranomaisen hyväksymiä ja niillä voidaan korvata PPL-koulutusvaiheessa maksimissaan viisi lentotuntia [25]. Ilmailuviranomaisen hyväksyntä taas edellyttää simulaattorilaitteiston täyttävän tarkat vaatimukset, joita on annettu eri luokan harjoituslaitteille [9]. Hyväksytyjen laitteistojen hankintahinta ja muutostöiden erillinen hyväksyttäminen tuottavat haasteita näitä laitteistoja hankkiville ja käyttäville organisaatioille. [2]



*Kuva 2. Patria Pilot Training Malmin simulaattorikokonaisuus. Myöhempää koulutusvaihetta varten suunniteltua laitetta käytetään PPL-koulutuksessa perusmittarilentämisen harjoitteluun ja siitä voidaan lukea hyväksi viisi lentotuntia.*

Ilmavoimien alkeislentokoulutuksessa simulaattorikoulutus on sidottu osaksi VN1- ja VN2-lentokoulutusohjelmia. Simulaattoreita käytetään VN1-ohjelmassa noin kymmenen tuntia [22] ja VN2-ohjelmassa 12 tuntia [23]. Siviililupakirjaa ajatellen VN1-lentokoulutusohjelma vastaa ilmailumääräysten mukaan PPL-tason koulutusta ilman, että simulaattoriajasta saisi erityistä hyötyä [7]. Tämänkään seikan valossa laitteiston ei välttämättä tarvitse olla siviili-ilmailuviranomaisen hyväksymä koulutuslaite, mikä mahdollistaa uuden ja kaupalliseksi suunnitellun tekniikan entistä tehokkaamman hyödyntämisen laitteistossa [3].

### 3.2. Simulaattorit jatkokoulutuksessa

Jatkokoulutuksella tarkoitetaan tässä yhteydessä suihkukonekalustolla tapahtuvaa lentokoulutusta Lentosotakoulussa ja lennostoissa. Siviili-ilmailun puolella vastaavaa tarkoittaa CPL/IR/tyyppikoulutus -tason koulutus. Näillä sektoreilla simulaattorikalustoa on päivitetty 2000-luvulla ja laitteistoa kehitetään aktiivisesti. [12]

Lentosotakoululla on käytössään kaksi Hawk-suihkuharjoituskonetta tarkasti mallintavaa simulaattoria. Laitteet ovat samankaltaisia, eroina kolme- ja yksikanavaiset visuaalijärjestelmät sekä muutamia muita mallinnusjärjestelmiä. Näissä laitteissa oppilas toimii suljetussa ohjaamoympäristössä ja opettaja omalla positiollaan radio- ja videoyhteydessä koulutettavaan. Ensimmäistä lentoa oikealla koneella edeltää useita kymmeniä simulaattorilentoja, joilla harjoitellaan toimenpiteitä ja lentämistä niin normaalitoiminnassa, kuin häiriötilanteissakin [24]. Hawk-lentopalveluksen aloittamisen edellytyksenä on hyväksytysti suoritettu simulaattorikoulutus ja ennen ensimmäistä yksinlentoa myös hyväksytysti suoritettu hätätilannetarkastuslento [5].

WTT-tyyppisen massiivisen ilmataistelusimulaattorin poistuttua käytöstä, F-18 WTSAT-simulaattoreita on käytössä yksi kussakin lennostossa. Laitteisto on kiinteä, neljäkanavaisella taustaprojektioon perustuvalla visuaalilla ja tarkasti oikeaa vastaavalla ohjaamalla varustettu kehittynyt harjoittelulaite. WTSAT-simulaattori soveltuu yhtäläillä peruslentämiseen kuin tehtäväharjoitteluun jopa visuaalisuunnistuksen osalta. [13]

Ilmavoimien hävittäjäkoulutukseen liittyvä uusi simulaattorisovellus on kosketusnäyttöihin ja HOTAS-ohjaimiin perustuva kompakti F-18 -harjoittelulaite. DTT:ksi nimetty laitteisto voidaan liittää WTSAT-verkkoon, jolla mahdollistetaan usean koneen yhteistoiminnan harjoittelu virtuaalisesti [13]. Myös Hawk-koulutukseen on suunnitteilla kevyempiä harjoittelulaitteita täydentämään simulaattorikoulutusta [12].

## 4. SIMULAATIO-OHJELMISTO JA LENTOMALLI

Simulaatio-ohjelmistolla tarkoitetaan tässä yhteydessä ohjelmaa, tai oikeammin ohjelmistokokonaisuutta, jolla mahdollistetaan lentosimulaattorin toiminnallisuus. Lentoarvojen lisäksi nykyaikainen simulaatio-ohjelma tuottaa kehittyneen maisemamallin, josta seurauksena on suuri kapasiteetin tarve sitä pyörittävälle tietokoneelle. [8]

Lentomalli on mahdollisimman tarkasti aitoa lentokonetta ja sen ominaisuuksia vastaava osa simulaatio-ohjelmaa. Nykyisellä mallinnus- ja laskentakyvyllä ei voida järkevästi käyttää aerodynamiikkaan perustuvaa lentoarvolaskentaa, vaan malli on ohjelmasta riippuen kompromissi erilaisista käyttäytymisominaisuuksista eri lentotiloissa [1]. Yksinkertaisimmissa harjoittelulaitteissa on varsinkin ennen kehittyneitä tietokoneita käytetty geneerisiä lentomalleja, jotka mallintavat kompromissin tavoin tietyn luokan lentokoneita [2, 6].

Kaupallisista simulaatio-ohjelmistoista tunnetuimpia ovat Flight Simulator -sarjan tuotteet. Uusin versio kotikäyttäjille on Flight Simulator X ja kaupalliseen käyttöön Flight Simulator ESP -ohjelmisto. ESP vastaa pääosin markkinoilla olevia Flight Simulator -sarjan tuotteita, mutta sen yhteensopivuutta fyysisen ohjaamokokonaisuuden ja laajennetun käytön kannalta on paranneltu. Simulaatioalustan lisäksi ohjelmisto pitää sisällään SDK-työkaluja, joilla voidaan mallintaa eri koneita, maastomalleja ja ohjelmointikielen avulla muokata useita muita simulaattorin parametreja. [1]

Varsinaista simulaatio-ohjelmistoa täydentämään tarvitaan useasti lisäohjelmia, joilla hallitaan simulaattorikokonaisuutta. Kaupallisista simulaattoriohjelmistoista puhuttaessa nämä pienemmät ohjelmistot käsittävät useimmiten simulaatio-ohjelmiston dataa lukevia ja eri muodoissa siirtäviä osia sekä näiden pohjalta toimintoja suorittavia ohjelmia. Flight Simulator -ympäristössä esimerkkinä on FSUIPC-lisäosa, joka siirtää simulaattoriohjelmiston tietoa sopivassa muodossa sitä tarvitseville lisäosille. Jotta simulaattoriin saataisiin yksinkertainen ja yhtenäinen käyttöliittymä, on todennäköistä, että simulaattorin hallintapaneeli ja opettajan position ohjelmistot kannattaa ohjelmoida räätälöidysti tulevaa käyttöä ajatellen.

#### 4.1. Lentomallille asetettavat vaatimukset

Simulaattorin käytössä voidaan erotella muutamia lentomallinnuksen kannalta merkittäviä osa-alueita. Ominaisuuksien arvioinnin lähtökohtana ovat nykyisten VN1- ja VN2-lentokoulutusohjelmien sisällöt ja tavoitteet.

Useimmissa lentokouluissa käytettävät simulaattorit perustuvat geneerisiin tai käytetystä koulukoneesta poikkeaviin lentomalleihin. Ratkaisua voidaan selittää pitkälti alkeis- ja peruslentokoulutukseen käytettävien koneiden pienillä keskinäisillä eroilla normaalitoiminnassa. Esimerkkinä mittarilentämisessä kallistuskulmat ja nopeusalueet ovat tietyn ilma-alusluokan koneilla hyvin samankaltaisia, jolloin pienillä eroavaisuuksilla ei ole menetelmäharjoittelun kannalta suurta vaikutusta lopputulokseen. Konetyyppikohtaisten toimenpiteiden ja menetelmien osaaminen alkeiskoulukoneella ei myöskään ole erityisen tärkeässä roolissa siirryttäessä koulutuksen edetessä seuraavaan konetyyppiin. [2, 11]

Konetyyppikohtaiset erot korostuvat erityisesti lähestyttäessä lentoalueen rajoja esimerkiksi liikehtimisen tai sakkauksen yhteydessä. Liikehtimistä sisältävien lentotehtävien ja epätavallisten lentotilojen harjoittelu simulaattoreilla on kuitenkin alkeislentokoulutuksen osalta hyvin marginaalista ja lentokoulutuksellista hyötyä saavutetaan useasti enemmän ohjausteknisten peruseriaatteiden konkretisoinnista kuin lentotilassa tapahtuvien muutosten tarkassa havainnoinnissa ja hallitsemisessa. Lentomallin osalta vaatimuksena pidetäänkin ennen kaikkea oikeansuuntaista käyttäytymistä, ilman suuria yllätyksiä tai ohjaustekniikan eroavaisuutta oikeaan koneeseen nähden [4]. Näin pyritään sulkemaan pois myös väärinoppimisen mahdollisuus. Todettakoon vielä, että tyyppihyväksyntä- tai sotilasilmailun sertifiointiprosessin läpikäyneet alkeiskoulukoneet ovat todennettu lento-ominaisuuksiltaan turvallisiksi esimerkiksi juuri sakkauksen yhteydessä [20].

Ilmavoimien hävittäjäohjaajan toimintaympäristöön tähtäävän koulutuksen osalta liikehtimisen ja epätavallisten lentotilojen harjoittelu on ymmärrettävästi korostetun tärkeässä roolissa. Simulaattorien osalta liikehtelyä sisältävien lentotehtävien harjoittelun suurin hyöty nähdään kuitenkin enemmän tehtävärutiinin ja tilannetietoisuuden kehittymisessä motorisen oppimisen sijaan. Samalla parannetaan edellytyksiä keskittyä oikealla koneella lentotehtävän ydinkohtiin myös liikehtimistä sisältävillä lentotehtävillä. Laivueen kanta on, että lentomallille ei aseteta epätavallisten lentotilojen osalta varsinaisia suorituskykyvaatimuksia, vaan lentomallin johdonmukainen käyttäytyminen näissä tilanteissa riittää. [3,4]

Haastateltavien kaupallisista simulaatio-ohjelmistoista keräämien kokemusten ollessa rajallisia, tulee lentomallin arvioinnin osalta suhtautua kriittisesti saatuihin lausuntoihin. Lentomallin arviointia helpottaa erityisesti sen koelentäminen simulaattorin omalla ohjainkonfiguraatiolla, jota käsitellään seuraavassa kappaleessa.

## 4.2. Ohjainmallinnus

Lentomallin yhteydessä tulisi tarkastella ohjaamokoonpanon ominaisuuksia niiltä osin kuin se liittyy ohjauskomentojen välittymiseen simulaatio-ohjelmistolle. Todenmukaisen käsittelyn kannalta tärkeimpiä ominaisuuksia ovat ohjainten oikeat liikeradat, tietyn ohjainpoikkeutuksen vaikutus lentoarvoihin sekä ohjainvoimat. Ilman kunnollisia ohjaimia lentomallin autenttisuus ei välity ohjaajalle, eikä siten tuota haluttua lopputulosta. Mainittakoon, että Suomessa suunnitellun ja valmistetun Valmet L-70 koneen suoritusarvoista löytyy paljon valmista dataa muun muassa ohjainmallinnusta varten [21].

Suoritettujen simulaattorilentojen sekä haastatteluiden perusteella monissa FFS-tasoa alemmissa laitteissa ohjausominaisuudet eroavat mallinnettavasta konetyypistä siinä määrin, että eron voi havaita jo normaalitoiminnassa [12]. Simulaattorit mielletään useasti lentokonetta epävakaammiksi ja ohjattavuudeltaan hankalammiksi [3]. Subjektivistä havaintoa voi selittää muun muassa ohjauskomentojen fyysisen palautteen puuttuminen, ohjelmalliset ja rakenteelliset rajoitukset sekä mallintamisen epätarkkuudet ja ohjelmiston viiveet. Sinällään simulaattorin korostunutta tarkkuutta vaativaa lentämistä ei pidetä haittana, vaan se täydentää osaltaan maakoulutuksen lähtökohtaisesti alempaa kuormitustasoa [4].

Teknisen toteutuksen ja kustannusten kannalta muuttuvien ohjainvoimien simuloiminen on haastavaa. Tarkoitusta varten on kehitetty erilaisia sovelluksia pneumatiikasta sähkömoottoreihin ja näitä käytetään useissa raskaammissa simulaattoreissa. Monimoottorikoneita mallintavissa simulaattoreissa ohjainvoimien mallinnus on tosin aivan eri tavalla tärkeää erityisesti vajaamoottoritilanteiden harjoittelua ajatellen, jolloin tarvitaan suuria ohjainvoimia ja -poikkeuksia kriittisissä tilanteissa [2]. Yksinkertaisimmissa harjoittelulaitteissa perinteisenä vaihtoehtona on ollut jousitoiminen palautus, joka tuottaa vakiovoimaisen vasteen sauvaa liikuttaessa. Jo peruslentämiseen liittyvä koneen trimmaaminen, joka tapahtuu Vinka-koneessa mekaanis-välitteisen trimmipyörän avulla, täytyy tässä tapauksessa toteuttaa ohjelmallisesti ja ilman realistista vastetta ohjaimissa. Trimmin ohjainvaste voidaan tosin tuottaa keskitysmekanismin liikuttamisen avulla esimerkiksi sähkömoottorin avulla, kuten Malmin Ilmailukerhon Cessna-simulaattorissa on tehty [15].

Taitolennon ja liikehtimisen osalta lentokoulutuksellisenä etuna ei nähdä niinkään ohjaustekniikan hiomista tunnonomaiseksi, vaan poikkeavien lentotilojen käyttöä osana tilannetietoisuuden ja päätöksentekokyvyn harjoittamista [3]. Hätätilannekoulutuksessa vikatilanteiden simulointi kesken taitolentoliikkeiden suoritusta korostaa juuri näiden ominaisuuksien hallintaa, eikä vaadi ohjainmallinnukselta yhtä suurta autenttisuutta kuin yksittäisen taitolentoliikkeen opettelu. Jos kuitenkin simulaattori todetaan lentomallin ja visuaalin puolesta soveltuvaksi rajoitetun liikehtimisen harjoitteluun tulisi myös ohjainjärjestelmä rakentaa soveltuvaksi yksittäisten lentoliikkeiden suorittamisen vaatimusten mukaisesti. Lentokoulutuksen toteutuksen kannalta ei nähdä esteitä edellä kuvattujen yksittäisten taitolentoliikkeiden perusteiden kouluttamiseen alustavasti jo simulaattorin avulla [4].

### 4.3. Lentoarvojen mallintaminen Flight Simulator ESP -ohjelmistossa

Otsikon mukaisessa kaupallisessa ohjelmistossa lentoarvomallinnus tapahtuu muokkaamalla eri lentokonemallien parametrikirjastoja. Taulukkomuotoinen kirjasto sisältää kertoimia tietyille lentokoneen ominaisuuksille, jotka määrittävät lentomallin käyttäytymisominaisuuksia. Esimerkkinä lentokonemallille voidaan syöttää tiettyä aikaa vastaava siivekepoikkeutuksen aikaansaama kulmanopeus pituusakselin ympäri. Lopulta tietokone laskee taulukoiden, suoritettujen ohjaustoimenpiteiden ja vallitsevan lentotilan pohjalta suoritettavan tapahtumaketjun. [1]

Kaikkien mallinnettavissa olevin arvojen luettelointi tähän työhön ei sovi rajaukseen. Dokumentaation ja valmiiden lentomallien perusteella voidaan todeta, että ohjelmiston mahdollisuudet takaavat tutkimuksessa esiin tulleiden vaatimusten perusteella riittävän lentomallinnuksen tarkkuuden suunniteltua käyttöä ajatellen. Vinka-koneesta on lisäksi saatavilla hyvin kattavasti lentoarvotietoja mallintamista varten [1].

Käytettäessä fyysistä ohjaamokokoonpanoa lentokoneen mallintamiseen kuluu työmäärää säästetään keskittymällä lentoarvojen mallintamiseen visuaalisen rajapinnan sijaan. Itse mallinnuksen kannalta FS ESP:n etuna on parametrien syöttämisen helppous ja huonona puolena yksinkertaisesta lentomallipohjasta aiheutuvat lentomallin epätarkkuudet epätavallisissa lentotiloissa [1].

Simulaattorien verkottaminen on käsitelty jäljempänä. Mainittakoon jo tässä yhteydessä, että simulaatio-ohjelmiston kannalta tarvittava alusta on valmiina [1].





*Kuva 3. Malmin Ilmailukerhon harrasterakenteinen Cessna 172 -simulaattori. Laitteisto käyttää Microsoft Flight Simulator 2004 -ohjelmistoa, aidonnäköisen mittariston ollessa servotoiminen.*

#### 4.4. Tehtävähallintaohjelmisto

Tutkimuksen yhteydessä käsitellyissä laitteistoissa tehtävähallintaohjelmisto on pääosin ollut laitteiston valmistajan omaa tuotantoa oleva, suhteellisen yksinkertainen ja graafisella käyttöliittymällä varustettu ohjelma. Säästöparametrit on jaettu eri sivuille ja niiden hallinta tapahtuu näyttölaitteen sekä hiiren, näppäimistön, kosketusnäytön tai muun vastaavan hallintalaitteen avulla. Hallintapaneeli on sijoitettu oppilaan ympäristön kanssa joko samaan tilaan, simulaattorin takapuolelle tai omaan tilaansa.

Tässä työssä esitetään myöhemmin ratkaisumalli opettajan position ja simulaattorien hallintalaitteiden rakentamisesta. Tämä konsepti käsittää tehtävähallintaohjelmiston osalta yksittäisen simulaattorin oman käyttöliittymän ja opettajan position ohjelmistot. Käytettävyyden parantamiseksi näiden samantyyppinen graafinen ulkoasu ja käyttöliittymä nähdään toivottavana ominaisuutena, mutta ei sinänsä välttämättömyytenä [4].

Yksittäisen simulaattorin oma hallintapaneeli voidaan sijoittaa ohjaajan takapuolelle monitorille, jolla voidaan esittää muun muassa tilannetietoa mittarilähestymisessä Link-laitteen piiruria vastaavasti. Monitorin ja näppäimistön ja hiiren käsittävän hallintalaitteiston avulla voidaan säätää primäärisiä toimintoja tai valita esiohjelmoitu lentotehtävä, jonka jälkeen loput parametrit säätävät itsestään. Primäärisiin toimintoihin luetaan erityisesti säätilan ja vikatilanteiden aktivointi lentotehtävän aikana niissä tapauksissa kun opettaja toimii positiollaan yksittäisen laitteen sivustalla [4].

IOS-ohjelmiston tulee käsittää monipuolisempia ominaisuuksia, joita on käsitelty osassa IOS.

Flight Simulator ESP tarjoaa mahdollisuudet hallintapaneelien muokkaamiseen, joka on yksi vaihtoehto yksittäisen simulaattorin hallitsemiseen [1]. Opettajan position käytettävyyden kannalta on kuitenkin vahvasti perusteltua rakentaa sille käyttötarkoitukseen räätälöity ohjelmisto etenkin, kun FS ESP ei sisällä suoraa tukea useamman koulutustapahtuman yhtäaikaan hallitsemiseen.

## **5. LENTOTEHTÄVIEN MÄÄRITTELY**

Ilmavoimissa annettava alkeis- ja peruslentokoulutus jakaantuu lentolajeittain eri osa-alueisiin. Alkuvaiheessa opetellaan yleisesti koneen käsittelyä ja myöhemmin tätä sovelletaan eri olosuhteissa. Alkeiskoulutuksen tavoitteena on valmistaa lento-oppilas suihkukoneella – tai vaihtoehtoisesti helikopterilla – jatkuvaan lentokoulutukseen ja voimakkaalla nousujohteisuudella mitata oppimiskykyä [22, 23]. Simulaattorin suorituskyky ja ominaisuudet määräävät sen käytettävyyden koulutusohjelman eri osissa.

Verrattuna nykyisiin lentokoulutusohjelmiin jo pelkästään hätätilanneharjoittelun liittäminen simulaattorikoulutukseen lisäisi käyttöaikaa ja -arvoa merkittävästi. Aiemmin kylmäharjoitteluna oikeassa ohjaamossa suoritettu harjoittelu lisäisi rutiinin muodostumista oikeisiin toimintoihin lihaskuistin avulla etenkin, jos se tehdään dynaamisena suorituksena osana simuloitua vikatilannetta [3]. Oikeassa ohjaamossa maassa suoritettuja harjoituksia on muutenkin jouduttu rajoittaman eri hallintalaitteiden käytön osalta osien kulumisen ja mahdollisten vaaratilanteiden välttämiseksi [3].

Simulaattorilentoajan lisäämiselle ei kustannusmielessä tulisi olla esteitä [3]. Laitteiston käytön juoksevat kulut ovat hyvin alhaiset ja toisaalta lennonopettajien valvomia lentoja ei ole välttämätöntä lisätä. Mikäli simulaattorien määrää lisätään, voidaan myös oppilaskohtaista simulaattoriaikaa lisätä ilman merkittävää resurssien lisätarvetta.

### 5.1. Simulaattorilentokoulutusohjelma

Simulaattorilennot ovat olleet kiinteä osa VN1- ja VN2-lentokoulutusohjelmia. Lentokoulutus aloitetaan teoriaopintojen jälkeen simulaattorilennoilla, joissa käydään läpi koneen hallintaa visuaaliolosuhteissa. Seuraavan kerran simulaattoreilla harjoitellaan perusmittarilentämistä, josta edetään menetelmäharjoitteluun, jossa painopiste on mittarilähestymisten harjoittelussa. [22, 23]

Simulaattorilentojen tehtävänanto on suoritettu opettajajohtoisesti, kuten muussakin lentopalveluksessa. Samoin tehtävän läpikäynti (debrief) ja palautteenanto on noudattanut muussa lentopalveluksessa käytettyä kaavaa. Lentotehtävissä on mainittu huomautuksina laitteiston rajoituksista tehtävän suorittamiseen vaikuttavat seikat. [22, 23]

Uuden laitteen sisäänajovaiheessa voidaan käyttää jo käytössä olevaa lentokoulutusohjelmaa oletuksena, että simulaattorilla voidaan suorittaa samat harjoitukset kuin nykyisillä Link-laitteilla [4]. Uudenaikainen simulaatio-ohjelmisto tarjoaa kuitenkin siinä määrin laajasti uusia mahdollisuuksia, että lentokoulutusohjelmaa on hyvin nopeasti muutettava ensinnäkin simulaattorilentojen ja toisaalta koko lentokoulutusohjelman osalta, saavutetun hyödyn täysimääräiseksi ulosmittaamiseksi. [4]

Yksi FS ESP -ohjelmiston merkittävä ominaisuus on lentotehtävien esiohjelmointi. Parametreina voivat olla muun muassa säätila, vikatilanteet ja ympäristön tapahtumat [1]. Näitä mahdollisuuksia voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi tallentamalla lentokoulutusohjelmaa vastaavat lennot valmiiksi kirjastoksi simulaattoriin, jolloin laitteisto on oikeassa aloitustilassa heti tehtävän valitsemisen jälkeen. Vastaava menetelmä on tulossa käyttöön Patria Pilot Training Malmin simulaattoriin ja sijainnin pikavalintaa käytetään osana koulutusta hyvin monessa laitteessa kuten esimerkiksi ilmavoimien WTSAT-simulaattorissa. [2].

Lennonvalmistelu on tehtävärutiinin kehittymisen kannalta perusteltua suorittaa samoilla menetelmillä kuin oikealle lennolle valmistautuminen. Sää tiedot ja simulaattorin omat asetukset tulee kuitenkin selvittää lentokoulutusohjelmasta ja tehtävänannosta. Opettajan harkinnan mukaan ennalta ohjelmoituja olosuhteita voidaan muuttaa koulutustapahtuman kannalta edullisimmaksi.

Laitteiston käyttöliittymä tulee pitää yksinkertaisena. Helppokäyttöisyyden tulisi ilmetä siten, että opettaja tai oppilas voi laitteelle tullessaan valita simulaattorista lentokoulutusohjelman lentotehtävää vastaavan lennon ilman monimutkaisia toimenpiteitä. Tämän jälkeen laite lataa itsensä sopivaan aloitustilanteeseen. Näiden valintojen jälkeen toimitaan yksinomaan lentokoneen toimenpiteiden mukaisesti. Oletusarvoisesti lähtöpaikka on Tikkakosken tukikohdan asemataso, josta tehtävä aloitetaan kuten oikealla koneella [4].

Lentopalvelusta edeltävästä koulutuksessa painopiste on toimenpiteiden opettelemisessa muistinvaraiseksi [3]. Tätä tarkoitusta varten koulukonetta mahdollisimman tarkoin vastaava ohjaamo on erityisen tärkeässä roolissa. Tyypilentovaiheessa peruslentämisen harjoittelu voidaan taas viedä nykyistä pidemmälle visuaalinäkymän mahdollistaessa aikaisempaa todennukaisemman harjoittelun. Esimerkiksi laskukierroslentämistä voitaisiin harjoitella ulkoisten merkkien mukaan. [4]

Lentolajeista pääpaino simulaattorissa on luontevaa pitää mittarilentokoulutuksessa. Teknisesti mittarilentäminen vaatii laitteistolta vähiten suorituskykyä, mutta harjoittelun kannalta tarjoaa paljon mahdollisuuksia. Jo yksikanavaisen, ainoastaan etunäkymän tarjoavan visuaalin avulla, voidaan simuloida kriittiset lennon vaiheet siirryttäessä mittarilentämisestä visuaaliolosuhteisiin. Näin saavutetaan suuri toiminnallinen yhdenmukaisuus suhteessa toimintaan autenttisessa tilanteessa tehostaen oppimisen siirtovaikutusta [18]. Nykyaikaisissa simulaatio-ohjelmistoissa radionavigointilaitteiden mallinnuksen tarkkuus ei ole rajoittava tekijä.

Hätätilannekoulutuksen liittäminen osaksi simulaattorilentoja tehostaa niin ikään nykyistä koulutustapaa. Nykyisellään hätätilannekoulutus perustuu kirjallisiin ja suullisiin kuulusteluihin sekä muutamiin lentoihin, joilla tilanteita voidaan harjoitella tietyin rajoituksin [4]. Simulaattorin etuina ovat muun muassa tilannesidonnaisuus, toimenpiteiden suorittaminen oikein ja loppuun asti sekä palaute onnistumisesta lopputuloksen muodossa. Yksimoottorisella koneella voimalaitehäiriötilanteiden toimenpiteet ovat tärkeimpiä ulkoa osattavia toimenpiteitä ja laitteiston tulisi olla suorituskyvyltään uskottava ainakin näissä tilanteissa [3].

Osastolentämisen harjoittelu verkotetussa ympäristössä on periaatteessa mahdollista tietyin rajoituksin. Lähtökohtaisena vaatimuksena on, että visuaalijärjestelmällä kyetään tuottamaan riittävän laaja näkymä eteen ja sivulle [3]. Lentomallin epätarkkuudet, visuaalijärjestelmän rajoitukset ja fyysiset syyt aiheuttavat hajontaa muuten suurta tarkkuutta vaativaan osastolentotekniikkaan, jolloin sen todenmukainen harjoittelu ei näidenkään syiden valossa ole realistista. Laivueen kanta on, että laitteistolle ei tässä vaiheessa aseteta vaatimuksia osastolentämisen suhteen [4].

## 5.2. Lentotehtävän aikainen vaikuttaminen koulutustapahtumaan

Nykyisessä Link-simulaattorissa opettaja istuu simulaattorin sivustalla ja voi säätää muutamia parametreja, kuten tuulta ja sijaintia. Opetusnäyttöjen antaminen ei ole mahdollista kahdennettujen ohjainten puuttuessa. Tilannenäytöstä ilmenee koneen sijainti ja lentokorkeus sekä tarkka vaihe mittarilähestymisessä, mutta tilanteeseen puuttuminen onnistuu lähinnä puheen avulla [4].

Lähtökohta simulaattorilla suoritettavalle lentotehtävälle on ennalta ohjelmoitu tilanne käsittäen säätilan sekä koneen paikan asematasolla. Uudella laitteistolla myös hätätilanteiden ohjelmointi tietyille aikahaarukalle olisi ohjelmiston puolesta mahdollista, mutta koulutustapahtuman sujuvuuden kannalta on parempi, että opettaja voi parhaaksi katsomassaan vaiheessa vaikuttaa lennon kulkuun [4].

Vikasimulaatioita voitaisiin käyttää opettajan positiolta tätä tarkoitusta varten tehdyllä ohjelmalla. Kaikessa yksinkertaisuudessaan tietty vika aktivoidaan painamalla näytöllä esitetyltä listalta suunniteltua vikatilannetta, jonka jälkeen simulaatio-ohjelmisto suorittaa valitun toiminnon. Seurannan helpottamiseksi on suositeltavaa, että vian aktivoimisen yhteydessä näytölle saadaan kyseisen vian toimenpidelistä sekä lista oppilaan simulaattorissa suorittamista toiminnoista. Näin ollen kouluttajan on helppo seurata tilanteen kehitystä ja puuttua virheisiin. Vian aktivointi tulee oppilaalle yllätyksenä ja esimerkiksi keinohorisontin vikaantumisen havaitseminen vaatii jatkuvaa mittareiden ristiintarkkailua tullakseen huomatuksi.

Säätilaa käytetään hallintaohjelmistosta omalta sivultaan. Sen avulla voidaan lisätä vaikeusastetta sekä säätää olosuhteet huonommaksi, kuin oppilaan minimi edellyttävät. Oletustointana tällaisessa tilanteessa on lentotehtävästä riippuen ylösveto, varakentälle siirtyminen tai uusi lähestyminen [16]. Käyttöliittymä tulee pitää yksinkertaisena ja mittarilentämiseen liittyvät primääriset arvot näkyvyys ja pilvikorkeus ovat helposti säädettävissä. Fyysisesti säätöjen tulee olla tehtävissä sekä simulaattorin käyttöpaneelista että opettajan positiolta käsin. Tuulitilanteella ja puuskaisuudella saadaan lisättyä koko lennon kuormitusta lentoarvojen säilyttämiseen kuluvan lisääntyneen huomion kautta. FS ESP -ohjelmistossa jäätäminen on mallinnettu uskottavasti mittarinäyttöjen osalta, mutta ei välttämättä lento-ominaisuuksien puolesta [2].

Ajankäytön tehostamiseksi tulisi laitteistossa olla mahdollisuus nopeuttaa tiettyjä toimintoja, kuten pitkän rullausmatkan etenemistä, pikasiirtämällä kone suoraan odotus- tai lähtöpaikalle. [4]

Yhdistelemällä eri vikatilanteita saadaan koulutuksen edetessä luotua vaativia skenaarioita, joilla korvataan osaltaan simulaattorin jännityksettömän toimintaympäristön kuormitusta lähemmäksi oikean koneen tasoa. Esimerkki vaativasta harjoituksesta voisi olla säätilan yllättävä muutos yölennolla, jolloin oppilasta edellytetään tekemään nopeita päätöksiä ja mahdollisesti suorittamaan paluu kotitukikohtaan jäätävissä olosuhteissa. Simulaattori mahdollistaa lisäksi vaativampien ja riskialttiimpien harjoitusten suorittamisen kuin mitä oikealla koneella voidaan turvallisesti suorittaa.

### 5.3. Oppilaiden omatoiminen harjoittelu

Lento-oppilaiden omatoiminen harjoittelu laitteistolla ei sinällään nopeuta nykyisen kaltaisen lentokoulutusohjelman läpivientä, mutta lisää oletettavasti oppimisvaikutusta koko lentokoulutusta ajatellen [4]. Näyttöä harjoittelun vaikutuksesta on ennestään ohjaamossa suoritettavasta toimenpideharjoittelusta ja nykyisellä simulaattorilla suoritetuista menetelmäharjoituksista. Uudella laitteistolla näitä harjoitteita voidaan suorittaa saumattomammin yhdessä ja sitä kautta tehostaa oppimista.

Omatoimisen harjoittelun mahdollistaminen edellyttää tiettyjen teknisten vaatimusten täytymistä. Näitä ovat erityisesti simulaattorin riittävän yksinkertainen käyttöliittymä, laitteiston fyysinen kestävyys, ohjelmiston keräämä palaute ja harjoitustapahtuman hallinta oppilaan ympäristöstä käsin, ilman tarvetta suorittaa toimenpiteitä laitteen ulkopuolelta [4]. Omatoimisista harjoiteluista tulee jäädä tallenne lennonopettajan tarkasteltavaksi [4].

Omatoimista harjoittelua ajatellen olisi hyvä ohjelmoida valmiiksi harjoitustehtäviä, jotka sopivat senhetkiseen koulutusvaiheeseen. Esimerkiksi yhtä simulaattorikoululentoa kohden voi olla esiohjelmoituna saman aiheen harjoituksia eri vaikeusasteilla. Oppimisvaikutuksen lisäksi menettely lisää harjoittelumotivaatiota ja vähentää houkutusta käyttää simulaattoria väärin selkeän oppimistavoitteen puuttuessa. Kaikki laitteella tapahtuva harjoittelu on joka tapauksessa dokumentoitava [4].

Tehtäväkohtaista palautetta keräävä ohjelmisto, joka antaisi suorituksesta omaan ja muiden suorituskyykyyn vertailtavan pisteytyksen, tulee peliteollisuudesta saadun kokemuksen perusteella harkita yhdeksi kehityskohteeksi. Arvioitavina kriteereinä voitaisiin pitää esimerkiksi lentotarkkuutta eri raja-arvojen suhteen, kuten mittarilähestymisen tarkkuutta eri mittarilento-oluokkien suhteen. FS ESP -ohjelmiston ominaisuus, joka mahdollistaa määrättyjen tapahtumaketjujen liittämisen esiohjelmoituun lentotehtävään tiettyjen kriteereiden täytyessä, voisi hyvin toimia alustana kuvatulle käyttötavalle [1].

Kokemusta omatoimisen harjoittelun mahdollistamasta simulaattorista on muun muassa Ruotsin ilmavoimien alkeis- ja peruslentokoulusta Linköpingistä. Suomen ilmavoimien koulutusjärjestelmästä poiketen, ruotsalaiset eivät ole sisällyttäneet simulaattorilentoja koulutusohjelmiin, jolloin kaikki harjoittelu on tavallaan omatoimista. Suomalainen koulutuskulttuuri taas perustuu enemmän koulutustapahtuman tehokkuuteen ja teknisesti heikommankin laitteen mahdollisimman ohjelmoituun käyttöön. Omasta ja muiden lento-oppilaiden kokemuksista koostettuna jo nykyisen Link-tason laitteen käyttö suunnitellusti lentokoulutuksessa tuo merkittävää lisäarvoa itse lentämiseen ja menetelmätietouden kehittämiseen.



*Kuva 4. Ruotsin Ilmavoimien SK60-koulutuslaite Linköpingissä. X-Plane -ohjelmistoa neljällä PC:llä käyttävää laitetta ei käytetä suunnitellusti koulutuksen apuvälineenä.*

#### 5.4. Arviointi

Simulaattorilentoja ei ole numeerisesti arvioitu VN1- ja VN2-lentokoulutusohjelmissa, joskin oppilaiden jatkokoulutuskelpoisuutta ja oppimiskykyä arvioidaan jatkuvasti kaikessa lentopalveluksessa [3]. Oikealla koneella tapahtuvasta lentämisestä ensimmäisten kymmenen lennon jälkeen arvostellaan jokainen lentosuoritus. [22, 23]

Uuden simulaattorin mahdollistaessa oppilaan suorituskyykyyn mukautuvan ja aikaisempaa tilanteenmukaisemman harjoittelun, tulee arvostelusta helposti subjektiivinen. Toisaalta lennonopettaja joutuu oikealla koneella lennettäessä jatkuvasti suhteuttamaan arviointiaan muuttuviin olosuhteisiin, mitä ei sinällään koeta ongelmaksi [3]. Lentopalvelusesimiesten kanta arviointiin on kokonaisuudessaan hieman ristiriitainen; simulaattorilentojen arvioinnista voitaisiin saada lisäarvoa ja se valmistelisi oppilasta jatkokoulutusta varten, mutta tällöin oppilaiden omatoimista harjoittelua saatettaisiin joutua rajoittamaan [3]. Toisaalta simulaattorin opiskelumotivaatiota nostava vaikutus tulisi hyödyntää nimenomaan oppilaslähtöisessä opiskelussa ja keskittyä suorittamisen sijaan oppimiseen [4]. Siviilikoulutuksen saralla arvosteltavien lentosuoritusten määrää on vähennetty niin simulaattorilla kuin oikealla koneellakin [2].



Käytettiin arvostelua tai ei, suorituksesta tulisi joka tapauksessa saada mahdollisimman välitön palaute, jolla edistetään oppimista ja sen siirtovaikutusta. Oikeaan lentämiseen verrattuna kiinteästä simulaattorista puuttuu lisäksi fyysinen palautejärjestelmien merkitystä. [18]

## 6. KOULUTTAJAN YMPÄRISTÖ

Kouluttajan ympäristöllä tarkoitetaan koulutustapahtumaa ohjaavan opettajan työpistettä, joka käsittää tietyt lentoarvoja sekä oppilaan toimintaa indikoivat laitteistot, sekä käyttöliittymän lentotapahtuman hallitsemiseksi opetustapahtuman aikana. Kouluttajan ympäristöstä voidaan käyttää myös nimitystä opettajan positio.

Aidossa ympäristössä, eli VN-alkeiskoulukoneen ohjaamossa, opettaja sijoittuu oppilaan viereen. Tästä asemasta hänen on mahdollista seurata tarkasti oppilaan toimintaa ja tarvittaessa itse näyttää kuinka jokin toimenpide tai lentoliike suoritetaan [21]. Paitsi lentoturvallisuuden myös motorisen taitojen opettamisen kannalta esimerkkisuorituksen näyttämisen mahdollistaminen omilla ohjaimilla olisi kiistaton etu [19]. Simulaattorijärjestelmää ajatellen vastaavan rinnakkain istuttavan ohjaamon rakentaminen kuitenkin lisää kuluja ja tilantarvetta, sekä on yksin suoritettavan harjoittelun kannalta käytännössä tarpeetonta.

Lennon seuranta ajatellen kouluttajan tulisi nähdä etunäkymä visuaalin tai vastaavan näkyvän tarjoavan näytön kautta, mittariarvot sekä pystyä seuraamaan oppilaan suorittamia toimenpiteitä. Varsinkin alkuvaiheessa oppilaan fyysisestä toiminnasta ohjaamossa tulisi kitkeä pois mahdolliset huonot toimintamallit. Yksinkertaisuuden ja parhaan oppimisvaikutuksen aikaansaamiseksi, tulee alkuvaiheessa käyttää yhtä opettajaa oppilasta kohden fyysisesti lähellä ja suorassa vuorovaikutuksessa oppilaaseen. [4]

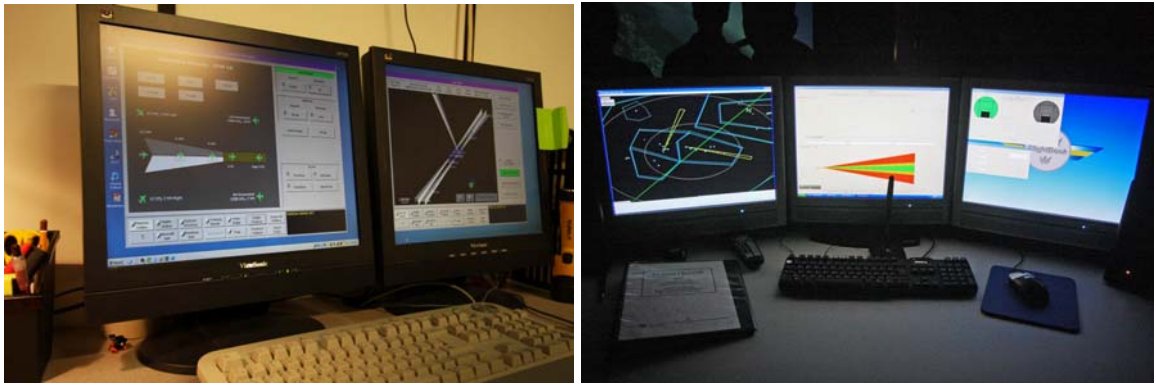
Verrattuna aikaisempaan koulutussimulaattoriin, uudessa järjestelmässä olisi tekniikan puolesta mahdollista käyttää alkuvaiheen jälkeen yhtä kouluttajaa useampaa laitetta kohden. Yhtenä vaihtoehtona on kouluttajan position sijoittaminen laitteiden taakse, josta olisi suora näköyhteys visuaalinäytöille ja ohjaamoihin. Tässä tapauksessa olisi tarpeellista esittää omilta monitoreiltaan ainoastaan lento- ja tilannetiedot. Suljettua ohjaamoympäristöä ajatellen näköyhteys olisi korvattava monitoritekniikalla, ellei ohjaamo ole suljettu ainoastaan sivuilta siten että näköyhteys projektiokankaalta viistosti opettajan positiolle säilyy. Lentosotakoulun Hawk-simulattoreissa näköyhteys on toteutettu tavallisten videokameroiden ja monitorin välityksellä.

Oppilaan itsensä suorittamia harjoituksia ajatellen koulutuksen edetessä varsinaisen lennonopettajan käyttö kouluttajan positiolla ei ole tarpeen, mikäli laitteisto pystyy keräämään tarvittavan palautteen lennon suorituksesta. Näitä tietoja tukemaan sekä harjoituksen kulkua ohjaamaan voidaan myös hyvin käyttää toista samassa koulutusvaiheessa olevaa lento-oppilasta. Viimeinen läpikäynti tulee kuitenkin tapahtua opettajan kanssa harjoituksien tallenteisiin tukeutuen [4].

Alkuvaiheen vierestä tapahtuvaa opettamista varten jokaisen simulaattorin yhteydessä tulisi olla tilanne- ja hallintänäyttö, josta voidaan seurata yksittäisen laitteen lentotietoja ja vaikuttaa tarvittaessa lennon kulkuun.

Kerättävästä lentodatasta yhtenä tärkeimmistä voidaan pitää jatkuvaa paikkatietoa. Aikaisemman simulaattorin (Link) tuottamaan piirroksen verrattaessa, FS ESP kykenee tallentamaan koko lennon tarkasteltavaksi debriefiä varten sekä paikkatiedon että lentoarvojen puolesta [1]. Lentotallenteesta tulisi voida osoittaa mahdolliset virheet ja poikkeamat tehtävän läpikäynnin yhteydessä. Kyseisen aikajakson lentoarvoista saataisiin lisäarvoa virheen luokitteluun ja siitä oppimiseen. [4]

Kytkimien ja laitteiden käytön rekisteröinti on siinä mielessä toissijaista, että lähes kaikissa tapauksissa ohjaaja havaitsee tekemänsä virheet myöhemmässä lennon vaiheessa tai viimeistään käyttäessään kyseistä kytkintä tai laitetta seuraavan kerran. Kuitenkin hätätilanneharjoittelussa toimenpiteiden rekisteröityminen opettajan näytölle voisi helpottaa opettajan puuttamista tilanteeseen.



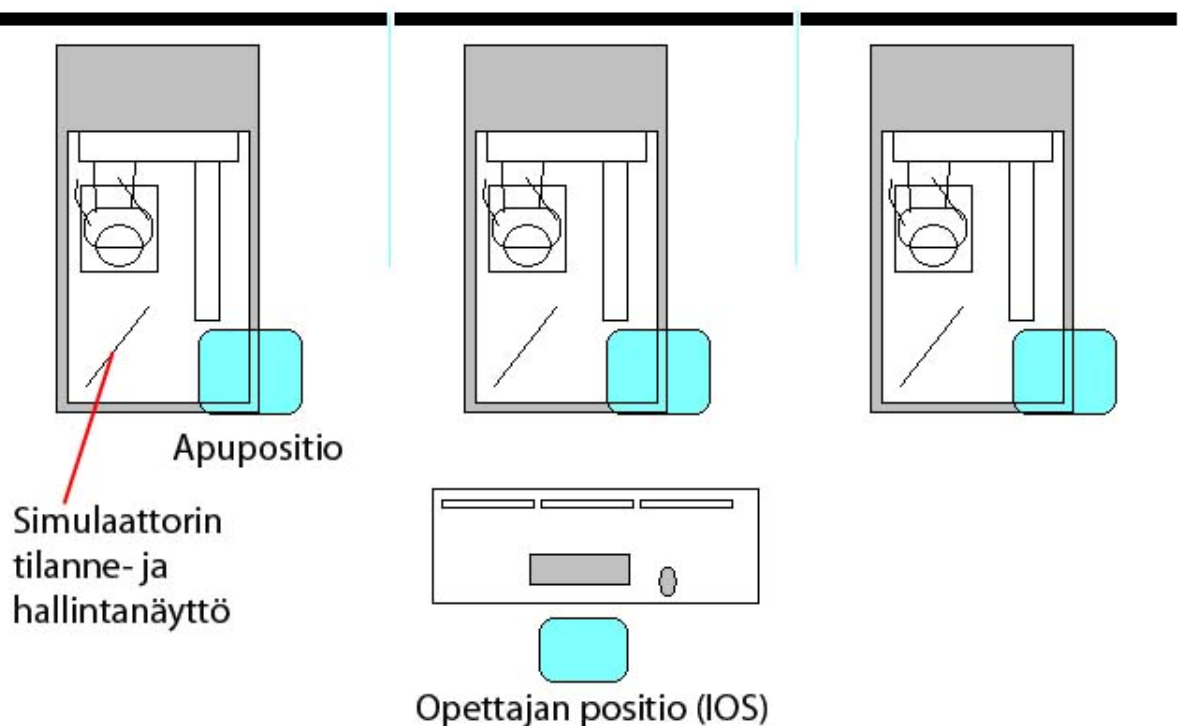
Kuvat 5 ja 6. Erilaisia opettajan positioita. Ruotsalaisten (oikealla) laitteistossa yleisnäkö-, mittarilähestymis-, ja tekninen hallintänäyttö kahta verkotettua SK60- simulaattoria varten.

## 6.1. Toteutus

Tutkimuksessa esitettyjen määrittelyiden pohjalta koottava esimerkinomainen IOS-laitteisto koostuu seuraavista komponenteista:

1. *Ohjaamoiden taakse sijoitettavista tilannenäyttöistä*, joista ilmenee lentoreitti pysty- ja vaakatasossa, indikoiden mittarilähestymistä samalla tavalla kuin Link-laitteiston piirturi. Opettaja voi ohjaamon viereltä opettaessa tarkkailla lentorataa kääntämällä kyseistä näyttöä sivulle tai harjoitteluvaiheessa varsinaiselta opettajan positiolta erilliseltä näytöltä, johon on valittavissa kytkimellä minkä tahansa simulaattorin tilannenäyttö. Teknisesti ratkaisu voidaan toteuttaa kahdennettujen näyttökaapelien ja valintaan käytettävien kytkinrasioiden avulla. Tätä näyttöä apuna käyttäen voidaan lennon lopuksi tulostaa määritellyt tiedot lennon kulusta debref:iä ja oppilaan omaa oppimista varten. Opettajan toimiessa oppilaan vierellä tulee tämän näytön avulla voida vaikuttaa koulutuksen alkuvaiheessa tarpeellisiin simulaatioarvoihin ainakin säätilan ja mielellään myös koneen uudelleenaseoinnin osalta.
2. *Karttanäytöstä*, joka näyttää kaikkien simulaattorien paikkatiedon karttapohjalla. Kyseinen näkymä helpottaa kokonaistilanteen seurantaa, sekä mahdollistaa puuttumisen tietyn simulaattorin lentoon oikealla hetkellä. Näkymän avulla voidaan myös toimia lennonjohtajana yhdelle tai useammalle laitteelle.

3. *Ohjausnäytöstä*, jonka avulla seurataan ja puututaan tietyn simulaattorin lentoon. Näytöltä valitaan haluttu simulaattori, jonka jälkeen ohjelman eri sivuilta saadaan näkyville ohjaustoiminnot; esimerkiksi lentoasun/koneen hallinta, visuaalin/grafiikan säätö, muut toiminnot sekä vikatilanteet. Suositeltavaa olisi käyttää riittävän isoa näyttölaitetta, jolloin ohjaustoimintosivun ohessa voidaan ilmaista lentoarvotietoja liittyen mittarinäyttöihin sekä vipujen ja kytkimien asentoihin eri vikatilanteita ajatellen.
4. *Tehtävän- ja lennonhallintaohjelmistosta*, joka muodostaa yksinkertaisen käyttöliittymän simulaatio-ohjelmiston mahdollistamien toimintojen käyttämiseksi. Ohjelmistoa hallitaan perinteisellä näppäimistö-hiiri -konfiguraatiolla.
5. *Mikrofoni-kuulokeyhdistelmästä*, jolla mahdollistetaan lennonjohtajana toimiminen ja ohjeiden antaminen opettajan positiolta. Ohjausnäytölle tulee oma sivu radioyhteyden hallintaa varten.



*Kuva 7. Konseptin hahmottelu. Opettajilla on apupositiot jokaisen laitteen yhteydessä ja kolmea laitetta kohti yksi pääpositio näyttö- ja hallintalaitteineen.*

## 6.2. Simulaattorien verkottaminen

Nykytekniikka mahdollistaa simulaattorilaitteistojen verkottamisen suhteellisen helposti ja useimpiin ohjelmistoihin onkin rakennettu valmiiksi mahdollisuus ”verkkopelamiseen” [1]. Alkeissimulaattorikoulutusta ajatellen verkottaminen ei kuitenkaan ole lentokoulutuksen kannalta itseisarvo, vaan siitä saatavaa hyötyä on tarkasteltava kriittisesti [4].

Linkittämällä simulaattorit samaan virtuaalimaailmaan saataisiin luotua totuudenmukainen ilmatilanne ennen kaikkea lasku- ja mittarilentokierroksia ajatellen. Toisaalta tilanteen täysimääräiseksi hyödyntämiseksi tarvitaan myös miehitetty lennonjohdon positio esimerkiksi kouluttajan työpisteen yhteyteen. Lennonjohtajana toimiminen saattaa kuormittaa yhtä opettajaa liian paljon, mutta saattaisi olla hyödyllinen oppimiskokemus toisille oppilaille ainakin myöhemmässä koulutusvaiheessa. Vaarana oppilaiden käyttämisessä on tiedostamatta tapahtuva väärän fraseologian omaksuminen [2].

Osastolentämisen simuloitua harjoittelua ei pidetty realistisena, joten sen suhteen verkottamisella ei saavuteta lisäarvoa [3].

Opettajan positiota ajatellen verkottamisella saadaan luotua tilannekuva simulaatiomaailmasta pienemmällä määrällä fyysisiä laitteita. Tätä tarkoitusta varten riittää, että käyttöön saadaan simulaatio-ohjelmiston tuottama data, eikä simulaattorien välttämättä tarvitse keskustella keskenään. Toinen kone voidaan myös säätää näkymättömäksi lentokoulutusohjelman määritteiden mukaan. Esimerkkinä verkotetuista simulaattoreista mainittakoon Ruotsin SK60-simulaattorit, joilla harjoittelu onnistuu samassa virtuaalimaailmassa ja opettajan positiolta kyetään seuraamaan molempien simulaattorien lentoja [14].

Laitteiston käytön yksinkertaistamiseksi ja luotettavuuden maksimoimiseksi on hyvä pitää erillisten tietokoneiden määrä mahdollisimman pienenä. Yksittäinen simulaattori on periaatteessa mahdollista rakentaa käyttämään ainoastaan yhtä tietokonetta visuaalijärjestelmän toteutuksesta riippuen. Opettajan positio vaatii todennäköisesti oman tietokoneen pyörittämään erilaisia koulutustapahtuman hallitsemiseen ja palauteteen keräämiseen tehtyä ohjelmistoja. Ohessa saatetaan toteutuksesta riippuen tarvita myös verkkoa hallinnoivaa tietokonetta, jonka kautta voidaan tuottaa esimerkiksi opettajan position kartta- ja tilannenäyttö (katso opettajan position toteutus - kohta 6.1).

Laitteiston verkottamisella internetiin mahdollistettaisiin autenttisten sääolojen lataaminen ja automaattinen päivittäminen simulaatiomaailmaan. Koulutuksellinen etu on kuitenkin hyvin hatara ja hyvin usein simulaattoreita pyritään käyttämään juuri tilanteissa, joissa säätö rajoittaa lentotoimintaa.

FS ESP:n dokumentaation mukaan ohjelmisto voidaan käynnistää suoraan verkkopelimoodiin, jolloin erillisiä valintoja ei tarvitse tehdä. Opettajan positiolla oleva tietokone voisi olla jatkuvasti host-moodissa, jolloin simulaattorit liittyvät verkkoon ilman erillisiä valintoja sitä mukaan kun ne ajetaan ylös [1].

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Simulaattorikoulutus on olennainen osa ilmavoimien lentokoulutusta myös alkeislentokoulutuksessa. Se edesauttaa oppilaiden paremman osaamistason saavuttamista koulutuksen jälkeen ja toistaalta tehostaa ilma-ajan hyödyntämistä oikealla koneella.

Alkeislentokoulutuksessa käytettävä simulaattorikalusto on ominaisuuksiltaan vanhentunutta. Lisäksi käyttövarmuus ja ylläpitoon tarvittavan huollon määrä on muodostunut ongelmaksi. Laitteistot tulee uusia nykyaikaiseksi mahdollisimman nopealla aikataululla.

Lentokaluston uusiminen lähitulevaisuudessa tukee ajatusta low cost -simulaattorin hankkimista vaihtoehtona huomattavan kalliille koulutusjärjestelmille. Ilmavoimien käyttämän laitteiston ei tarvitse olla siviili-ilmailuviranomaisen hyväksymä, joten siinä voidaan hyödyntää laajasti uuden tekniikan tarjoamia mahdollisuuksia ilman erillisiä hyväksymismenettelyitä.

Kaupallinen simulaatio-ohjelmisto, Flight Simulator ESP tai vastaava, soveltuu lentomallinnuksen ja ominaisuuksiensa puolesta low cost -simulaattorin pohjaksi. Todellisen suorituskyvyn selvittämiseksi tulee tehdä jatkotutkimusta ja koelentoja ohjaamokokoonpanon kanssa, minkä jälkeen voidaan tarkentaa simulaattorille sopivia käyttötarkoituksia.

Simulaattorin lentomallinnuksen tulee vastata koulukonetta tarkkuudella, joka mahdollistaa todenmukaisen harjoittelun erityisesti lentokoulutusohjelman tyyppi- ja mittarilentovaiheissa. Liikehtiminen ja muut erityistilanteet eivät ole mallinnuksen osalta erityisen kriittisiä, mutta yksittäisten taitolentoliikkeiden perusteiden harjoittelulla voidaan saavuttaa lentokoulutuksellista lisäarvoa. Ohjainmallinnukseen vaikuttaa olennaisesti myös ohjainrakenteiden fyysinen toteutus, jolloin ratkaisun toimivuutta tulee käsitellä yhtenä kokonaisuutena.

Simulaattorilentokoulutusohjelma tulee uudistaa uuden laitteiston mahdollisuuksien mukaisesti ja tätä varten simulaattoriaikaa lisätä. Pääpaino pidetään ensisijaisesti menetelmä- ja toimenpide orientoituneessa mittarilentämisessä. Lentolajeista suurin käytettävyys saavutetaan lentokoulutusohjelman tyyppi-, ja mittarilentovaiheen harjoituksissa, sekä hätätilannekoulutuksessa. Lentotehtävien esiohjelmointia tulee harkita.

Simulaattorien käyttöliittymä tulee pitää mahdollisimman yksinkertaisena käytettävyyden takaamiseksi myös harvemmin laitteistoa käyttäville. Oppilaiden omatoimisen harjoittelun mahdollisuus tulisi sisällyttää laitteiston suunnitteluun.

Opettajan positio rakennetaan simulaattorien taakse näköyhteyteen, sisältäen tilanne- ja hallintapaneelit. Yksi opettaja pystyy koulutuksen edetessä hallitsemaan ja valvomaan useaa erillistä harjoittelulaitetta.

Simulaattorien verkottaminen ei ole lentotehtävien kannalta välttämätöntä, mutta helpottaa teknisestä näkökulmasta opettajan position tilanne- ja hallintapaneelien rakentamista.

## LÄHTEET

- [1] Flight Simulator ESP dokumentaatio  
Microsoft Corporation.  
Yhdysvallat 2007.
  
- [2] Haastattelu: Hottola, Jani. Päälennonopettaja  
Patria Pilot Training Malmi.  
LIITE 5
  
- [3] Haastattelu: Isosomppi Matti. 4. Lentueen päällikkö  
Tukilentoilainue.  
LIITE 3
  
- [4] Haastattelu: Karjalahti, Jari. Päälennonopettaja  
Patria Aviation Oy, Pilot Training Tikkakoski.  
LIITE 4
  
- [5] HW-lentokoulutusohjelma HW1. Peruslentokoulutusohjelma  
Ilmavoimat.  
Tikkakoski 2008
  
- [6] Härtsilä, Heikki Ilpo  
GAT-1 lennonharjoituslaitteen muuttaminen Vinka-konetta simuloivaksi  
Helsinki 1983.
  
- [7] Ilmailutiedotus PEL T1-4  
Ilmailulaitos.
  
- [8] Integration of Modeling and Simulation.  
NATO RTO 4-2 Lecture Series  
Tuusula 2007
  
- [9] JAR-FSTD-A: Flight Simulation Training Devices  
Joint Aviation Authorities.



Hollanti 2008

- [10] Koskinen, Oki.  
Helikoptereiden koulutusjärjestelmät  
Halli 2007.
- [11] Laine Seppo, Hoffren Jaakko, Renko Kari, Lentokoneen aerodynamiikka ja lentomekaniikka  
WSOY 2006  
ISBN 951-0-31376-9
- [12] Omat muistiinpanot: Hawk-lentokoulutus. Lentosotakoulu.  
Kauhava 2008.
- [13] Omat muistiinpanot: Tutustuminen Karjalan lennoston simulaattoreihin  
Siilinjärvi 2009.
- [14] Omat muistiinpanot: Malmin Ilmailukerhon lentosimulaattoriin  
Helsinki 2008.
- [15] Omat muistiinpanot: Tutustuminen Ruotsin ilmavoimien lentokoulutukseen  
Linköping 2008.
- [16] PAK I 4\_20 Puolustusvoimien mittarilähestymisminimit ja mittarilentoluokat  
Tikkakoski 2005.
- [17] Patria Systems.  
Tehtävänanto kandidaatintutkielmaan  
Tikkakoski 2008.
- [18] Salakari, Hannu.  
Oppituntimateriaali, simuloitu oppimisympäristö –opintojakso.  
Kauhava 2008.
- [19] Salakari, Hannu.

Pedagogical Guidelines for Simulator Training.  
Eduskills Consulting, 2007  
ISBN 978-952-92-2419-7

- [20] Stinton Darrol.  
The Design of the Aeroplane  
Iso-Britannia 1983.  
ISBN 0 246 11328 6
- [21] Vinka ohjaajan ohje.  
Patria  
Tikkakoski 2006.
- [22] VN1 lentokoulutusohjelma.  
Ilmavoimat  
Tikkakoski 2008.
- [23] VN2 lentokoulutusohjelma.  
Ilmavoimat  
Tikkakoski 2008.
- [24] WS1, Hawk simulaattorilentokoulutusohjelma.  
Ilmavoimat.  
Tikkakoski 2008.
- [25] Yhteiseurooppalaiset ilmailuvaatimukset. JAR-FCL 1 Osa 1 Luku C.  
Joint Aviation Authorities.  
Hollanti 2006.

**LIITTEET**

- LIITE 1 Kysymyssarja simulaattoriopetuksen asiantuntijalle
- LIITE 2 Muistiinpanot Tukilentoaiivuen 4. lentueen päällikön, kapteeni Matti Isosompin haastattelusta
- LIITE 3 Muistiinpanot Patria Pilot Training Tikkakosken vastuuhenkilön, lennonopettaja Jari Karjanlahden haastattelusta
- LIITE 4 Muistiinpanot Patria Pilot Training Malmin päälennonopettajan, Jani Hottolan, haastattelusta ja vierailusta simulaattoriin

## LIITE 1: Kysymyssarja simulaattorikoulutuksen asiantuntijalle

### Laitteen tekniset tiedot

- Valmistaja
- Valmistus ja käyttöönottovuosi
- PC pohjaisuus, simulaatio-ohjelmisto
- Visuaalijärjestelmä
- Listahinta
- Ylläpito/käyttökulut
- Päivitettävyyys
- Verkotettavuus
- Ilmailuviranomaisen hyväksyntä, lentoajan hyväksilukeminen

### Lentomalli

- Yleinen vai konetyyppispesifinen
- Vastaako käytössä olevaa koulukonetta
- Ohjattavuusominaisuudet yleensä
- Sauvavoimat/liikeradat
- Sakkaus, lentoasujen muutokset
- Trimmattavuus
- Syöksykierre
- Selkeitä puutteita/muuta?
- Mitä ominaisuuksia vaaditaan eri lentolajeihin (ilmavoimien jaotus)

### Toiminnallisuus

- Toimenpideharjoittelu
- Menetelmäharjoittelu
- Hätätilanneharjoittelu
- Visuaalilentäminen
- Kokonaisten lentotehtävien läpivienti
- Alkeis/jatkokoulutus
- Laitteistosta aiheutuvat rajoitukset

### Simulaattorin käyttöperiaatteet

- Simulaattorilentokoulutusohjelma

- Kuka valvoo/opettaa
- Lennonjohtajana toimiminen
- Oppilaiden omatoiminen harjoittelu
- Paljonko käytetään lentokoulutuksessa, saavutetaanko hyvityksiä lentoajassa
- Brief ja debrief
- Palaute kerääminen, laitteiston ominaisuudet näiltä osin
- Arvostelu: arvioidaanko numeerisesti, mihin vaikuttaa..

#### Opettajan positio

- Käyttöperiaate
- Lentoon vaikuttaminen –säätöparametrit
- Käytännön toimenpiteet lentotehtävän läpiviennissä
- Käyttöliittymä ja näyttölaitteet
- Tallentuvat tiedot

#### Yleistä

- Tyytyväisyys laitteistoon
- Suunnitelmat uuden laitteiston hankkimiseksi

#### LIITE 2: Haastattelu Isosomppi

##### Lentokoulutusohjelman rakentuminen:

- Pääpaino lentolajeista tyyppi- ja mittarilentämisessä
- Taitolentokoulutusta ajatellen ei realistisia mahdollisuuksia ohjaintunnon ja visuaalin puolesta. Voidaan rajoitetusti harjoitella hätätoimenpiteitä liikehtelyn yhteydessä: korostetaan tilannetietoisuuden ja päätöksentekokyvyn tärkeyttä
- Hätätilannekoulutuksen liittäminen simulaattorikoulutukseen
  - o Moottorihäiriötoimenpiteiden tärkeys yksimoottorikoneissa
  - o Lihasmuistin kehittäminen tietopohjan rinnalle
- Tavoitteena pidetään oppilaiden saavuttamaa parempaa osaamistasoa suoritettua lentokoulutusohjelman jälkeen
- Simulaattoriaikaa lisätään verrattuna nykyiseen

- Lentokoulutusta ei vähennetä itsetarkoituksena. Mittarilentokoulutuksesta voidaan simulaattorin myötä mahdollisesti pudottaa pois suuruusluokkaa yksi lento kummastakin lentokoulutusohjelmasta (VN1/VN2). Vastaa vuositasolla noin 60 lentoa, todellisten mahdollisuudet selviävät vasta simulaattorin ollessa käytössä.
- Häätätilannetarkastuslento on lisättävä täydentämään ja mahdollisesti korvaamaan aikaisemmin kirjallisesti suoritettu ohjekirjakoe.
  - o läpäisyvaatimus oikealla koneella tapahtuvaa lentokoulutusta varten
- Lentokoulutusohjelma on uusittava simulaattorin mahdollisuuksia vastaavaksi.
- Ylläpitävän koulutuksen jatkaminen simulaattorilla; tavoitteiden yhteydessä esimerkiksi mittarilähestymisten ja hätätoimenpiteiden kertaaminen oikeiden lentojen ohessa
- Tavoitteiden lentämistä ei korvata simulaattorilennoilla

#### Suorituskykyvaatimukset

- Häätätilannekoulutukseen riittävän tarkka visuaalimalli pakkolaskun harjoitteluun. Esimerkiksi yhdelle harjoitusalueelle on tehtävä tarkempi maaston mallinnus pakkolaskupaikan osalta.
- Simulaattorin kytkinten ja laitteiden mallinnus riittävän tarkasti etenkin moottorihäiriötoimenpidekoulutusta ajatellen.
- Laskukierroslentämisen harjoittelu tyyppilentovaiheessa – vaatii riittävän suorituskykyisen visuaalin.
- Yölentokoulutus- vaatii riittävän hyvän visuaalin ollakseen tehokasta
- Liikejärjestelmän kustannukset eivät ole suhteessa saatuun hyötyyn
- Opettajan positiolle mielellään mahdollisuus lentojen seurantaan, radioliikenteen harjoittelua varten (tuo lisäarvoa harjoitteluun, mutta sisältää väärinoppimisen mahdollisuuden), sekä tehtävän läpikäyntiin ainakin lennon paikkatieto- ja lentoarvodatan muodossa.
- Työläämpö tai hankalampi ohjattavuus verrattuna oikeaan koneeseen ei sinällään haitta, lisää kuormittavuutta lähemmäs oikeaa toimintaympäristöä.
- Simulaattorien verkottaminen lisää todenmukaisuutta ainakin laskukierroslentämisessä (ja yhdenaikaisissa mittarilentoharjoituksissa), mutta luo osiltaan tarvetta miehitettyyn lennonjohtajan positioon. Samassa virtuaalimaailmassa toimimista on tarkasteltava kokonaisuudessaan kriittisesti.

#### Simulaattorin käyttö:

- Alkuvaiheessa opettaja oppilaan vieressä/lähellä

- Yhden opettajan käyttäminen useampaa laitetta kohden
- Toisen oppilaan käyttäminen valvojana/lennonjohtajana, ainakin VN2-vaiheessa
- Omatoimiseen harjoitteluun suhtaudutaan suurella varauksella. Sinällään hyvä asia ja lisää osaamista, mutta voi vääristää arviointia. Jos laite eroaa joiltain osin oikeasta koneesta, vaarana väärinoppiminen ja ongelmat jatkossa. Link-laitteen osalta oppilaiden omatoimista harjoittelua on rajoitettu. Tukiopetus on dokumentoitava jatkokoulutuskelpoisuuden arviointia varten.
- Arvostelu. Tyypivaiheen alkua VN1 ohjelmassa ei arvostella. Simulaattorikoulutusta ei ole numeerisesti arvosteltu, mutta sillä voitaisiin saada lisäarvoa. VN1 ohjelman mukaan varsinainen karsinta, mutta oppimiskykyä seurataan kaikessa toiminnassa. Simulaattorilla voidaan käyttää samantyyppistä arviointia, kuin oikeilla lennoilla ja lennon tavoitetason täytyessä voidaan harjoitella sovelletumpia tilanteita.
- Alkutila joko ennalta ohjelmoitu, tai opettaja lataa koneen sopivaan tilanteeseen. Jatkovaiheessa voidaan aloittaa lento suoraan sopivasta tilanteesta.

### LIITE 3: Haastattelu Karjanlahti

#### Link-laitteisto:

- Tutustutetaan oppilaat mittariympäristöön ja mittarilentomenetelmiin
- Ohjausominaisuuksien puolesta soveltuu peruslentämisen harjoitteluun
- Suurimpina puutteina koulutuskonetyyppejä vastaamaton ohjaamoympäristö – alkuvaiheessa tarvitaan paljon kylmäharjoittelua Vinkan ohjaamossa, sekä visuaalin puute.

#### Suorituskykyvaatimukset

- Visuaali, joka mahdollistaa laskukierroslentämisen visuaaliolosuhteissa ja siirtymisen mittarilentämisestä visuaalilentämiseen mittarilähestymisen lopussa.
- Vinka-konetta tarkasti mallintava ohjaamoympäristö, joka on etu- ja sivupuolelta eristetty ympäröivästä tilasta.
- Kytkimistä ja käyttölaitteista mallinnettu hätätilannetoimenpiteissä tarvittavat kohteet ja pääpainona pidetään moottorihäiriötoimenpiteitä.
- Lentokentän (kotitukikohta) alue mallinnettu tarkkuudella, joka mahdollistaa visuaalitoiminnan laskukierroksessa sekä maassa. Pysäytysverkkojen tulisi olla mallinnettuna hätätilanneharjoittelua varten. Ei tarvetta visuaalisuunnistukseen lentolajina (maise-mamallin puolesta).

- Palautteenkeruujärjestelmä, joka kerää tarvittavat tiedot lennon läpikäymiseksi. Ongelmakohdat tulisi voida havainnoida saadusta datasta ja mahdollisesti tarkastella lentoarvoja kyseisessä lennon vaiheessa.
- Opettajan positiolta näköyhteys ohjaamoon (kamera ja näyttö tai suora näköyhteys)
- Opettajan asemalta säädettävissä säätila (pilvikorkeus, näkyvyys ja tuulet), sekä hätätilanteiden aktivointi.
- Radioliikenne kuulokkeiden kautta
- Ylläpito help desk -menettelyn kautta. Ei erikseen palkattua henkilöstöä.
- Lentomallin tulee mallintaa Vinka-konetta uskottavasti normaalitoiminnassa. Syöksykierteiden ja liikehtimisen tärkeys toissijaista.

### Lentokoulutusohjelma

- Alkuvaiheessa tehdään muutosesitykset simulaattorilentojen sisältöjen täydentämisestä. Saatujen kokemusten myötä lisätään harjoiteltavia kohteita ohjelmaan simulaattorin suorituskyvyn puitteissa.
- Simulaattoriaikaa lisätään tarvittaessa.
- Oikeiden lentojen määrän vähentäminen ei ole tavoite ja opettajaresurssien säästäminen toissijaista. Alkeislentokoulutuksessa oikealla koneella tapahtuva lentäminen on edelleen tärkeimmässä roolissa.
- Pyritään parantamaan oppilaiden osaamistasoa ja motivaatiota mielekkäällä harjoittelulla.
- Tarkastuslistojen ja hätätilanmenpiteiden harjoittelu suoritetaan simulaattorissa ja osaamisen voitaisiin mitata simulaattoritarkastuslennoin.
- Pääpaino pidetään tyyppi- ja mittarilentokoulutuksessa. Yölentämisen harjoittelu on todennäköisesti mahdollista. Taitolennossa voidaan ohjaintuntuman ja visuaalin puitteissa harjoitella yksittäisiä liikkeitä, kuten vaakakierteitä ja heilureita. Tärkeää oppia oikeansuuntaiset ja oikeassa järjestyksessä suoritettavat liikkeet eikä niinkään liikekohtaisen motoriikan hiominen.

### Simulaattorin käyttö

- Opettajaa käytetään myös lennonjohtajana ja VN2-vaiheessa toinen lento-oppilas voi toimia lennonjohtajan roolissa.
- Alkuvaiheessa opettaja sijoittuu simulaattorin viereen antamaan henkilökohtaista opetusta
- Myöhemmin yksi opettaja voisi valvoa korkeintaan kolmea laitetta kerrallaan



- Mikäli laitteistosta saadaan riittävän helposti käytettävä ja kestävä, tulee oppilaille antaa mahdollisuus omatoimiseen harjoitteluun. Omatoiminen harjoittelu on dokumentoitu ja tallenteet lennosta tulee käydä läpi opettajan kanssa.
- Simulaattorikoulutukseen voitaisiin lisätä tarkastuslennot mittari- ja hätätilannekoulutukseen. Ainoastaan simulaattorikoulutuksen perusteella ei tule tehdä päätöksiä jatkokoulutuskelpoisuudesta.
- Alkuvaiheessa kehitetään tehtävärutiinia oikeiden lentojen kanssa yhtäläisellä valmistelulla ja tehtävän suoritusperiaatteella. Täydellisen lentovarustuksen käyttäminen simulaattorissa ja siitä saavutettavan hyödyn selvittäminen.

#### Muuta

- Esimerkki laitteistojen sijoituspaikasta Tikkakosken, 2-hallin yläkerta, ”tutkahuone”
- Mikäli laitteisto osoittautuu toimivaksi ja helppokäyttöiseksi, yhden laitteen sijoittamista RUK:n tiloihin harkittava.

#### LIITE 4: Haastattelu Hottola

- Käytössä Mechtronix:in valmistama FNTP 2 MCC –tason koulutuslaite, tyyppiä ”convertible turboprop”
- Aikaisemmin käytössä useita erilaisia simulaattoreita, joiden tekninen luotettavuus ja käytettävyys olivat jääneet jälkeen nykyajasta.
- Laite koostuu useista Windows-pohjaisista tietokoneista, jotka on verkotettu yhteen.
- 3-kanavainen visuaali, käytössä perinteiset videotykit. Jokaista näkymää pyörittää oma tietokone.
- Simulaattorin käyttöaste pyritään pitämään korkealla (12h/päivä). Uuden simulaattorin hankinta tulee ajankohtaiseksi kapasiteetin täytyessä.
- Tulevaisuuden hankintana mahdollisesti BITD -tason pöytämalliset harjoittelulaitteet. Koulukoneiden käyttöajasta ei tarkkaa tietoa, jolloin tyyppikohtaisten laitteiden hankinta ei ole ykkösprioriteetteja.
- Simulaattorilentoja ei arvostella. Keskusteluja aiheesta käyty ja voi olla, että menettely tulee muuttumaan tulevaisuudessa. Kurssilla arvosteltavia lentoja muutenkin vain 3 kpl eri vaiheissa:
  - o Ennen yksinlentotarkastuslentoa
  - o Ennen ensimmäistä yksinsuunnistusta
  - o Viimeinen lento 1-moottorikoneella

- Opettajan positio sijaitsee laitteen takana. Käsittää tietokoneen kahdella näytöllä ja hallintalaitteilla. Valinnoissa mm. säätila, vikatilanteet, koneen paikan muuttaminen jne.
- Voidaan hyvittää viisi tuntia PPL vaiheessa
- Integroidulla ATPL kurssilla voidaan laskea hyväksi 60 tuntia
- Laitteiston hinta luokkaa 250 000 euroa
- Lentomalli o ollut alkujaan puutteellinen. Vaatinut tehtäväksi koelentoja ja niiden perusteella suoritettavia muutoksia. Esimerkiksi Seneca-mallissa huomattavasti liian pieni vastus laskuasussa. Valmistajan lähtökohtaisena tavoitteena on lähinnä täyttää viranomaisen määrittämät speksit.
- Koulutuksen edetessä lennot suoritetaan maatoimenpiteistä maatoimenpiteisiin. Alkuvaiheessa voidaan simulaattoria käyttää sovelletusti ainoastaan tiettyjen asioiden harjoitteluun (ei käynnistetä itse jne.).
- Visuaalilentäminen onnistuu, joskin maisemamalli rajoittuu vain tietyille alueille. Ei mahdollisuuksia visuaalisuunnistukseen.
- Simulaattorissa käytetään kolmea lentomallia
  - o Piper Seneca
  - o Beechcraft King Air
  - o ATR
- Ohjaamomalli on kompromissi eri koneista. Ei sinänsä haitta, mutta hätätilannekoulutusta ajatellen tarkasta vastaavuudesta olisi hyötyä
- Ohjainvoimat on mallinnettu uskottavasti paineilmajärjestelmän avulla.
- Tekninen luotettavuus on kohtuullisella tasolla. Tietokoneisiin ja ohjelmistoon liittyviä vikoja esiintyy silloin tällöin. Sisäänajovaiheessa ongelmia, joista on sittemmin päästy eroon.
- Tarkka kenttämallinnus mahdollistaa tutustumisen lentoasemaan ohjaamonäkökulmasta
- Sakkaukset tulisi olla mallinnettuna ainakin suurin piirtein oikeaa vastaaviksi. Syöksykierreharjoittelu ei oleellista.
- Koulutusvaiheesta riippuen opettaja toimii lennonjohtajana. Toista oppilasta ei käytetä, osaamistaso ei välttämättä riittävä. Ohjelmistoon sisäänrakennettuja lennonjohtaja-robotteja on yritetty tuottaa eri valmistajien toimesta ja useimmiten heikoin lopputuloksin.
- Verkotettavuudesta ei tarkkaa tietoa – ei ole nykykäytössä oleellista.

- Hyvästä visuaalista saavutetaan suuri hyöty siirtymävaiheessa mittarilentämisestä näkölähestymiseen. Riittävän laaja sivunäkymä mahdollistaa lähestymisen jatkopäättöksen myös epätarkkuuslähestymisissä, joissa lähestytään kiitorataa leikkaavalla kulmalla. Viranomainen tarkka mittarilähestymisten säämallinnuksesta.
- Säämallinnus riittävän tarkka demonstroimaan huonon sään operointia.
- Mittarit tuotettu paneelin takaista näyttöä hyödyntäen, radiot oikeita (esim GNS 430)
  - o Merkittävä kustannussäästö verrattuna aitoihin lentokoneosiin.
- Lentomalli suoriutuu kohtuullisen hyvin 1-moottoritilanneharjoituksista
  - o Oikealla koneella monesti liian riskialttiita harjoiteltaviksi
- Opettajina ainoastaan lennonopettajan pätevyyden saavuttaneita henkilöitä (PPL vaihe), mittarikoulutuksessa opettajalla vähintään IRI -taso.
- Oppimisympäristönä laitteeseen ollaan tyytyväisiä. Myös oppilaat pitävät laitetta hyvänä.
- Lentomalli ”neutraali”, aikaisemmissa simulaattoreissa usein korostuneen epävakaan ohjattavuus.
- PPL-vaiheessa käytetään ainoastaan perusmittarilentämiseen, jolloin alkeiskoulukoneesta eroava ohjaamoympäristö ei ole erityisen merkitsevä
- Avia Collegella käytössä ALSIM AL-50 simulaattori
- Autenttinen lentosää ladattavissa internetin kautta.
- Muu liikenne mallinnettu visuaalisesta näkökulmasta realistiseksi.
- Pienet käyttökulut, elektroniikka ja kulumisvikoja silloin tällöin.