



Markkinaselvitys

Harrasteluokan lentokoneeseen soveltuvat modernit sähkö- ja avioniikkajärjestelmät

Pekka Karjanlahti

OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2023

Konetekniikka
Tuotantotekniikka ja Tuotekehitys

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotantotekniikka ja Tuotekehitys

KARJANLAHTI, PEKKA:

Markkinaselvitys

Harrasteluokan lentokoneeseen soveltuvat modernit sähkö- ja avioniikkajärjestelmät

Opinnäytetyö 67 sivua, joista liitteitä 1 sivua
Marraskuu 2023

Opinnäytetyönä tehtiin CSI Oy:n toimeksiannosta markkinaselvitys tämän hetken harrasteilmailuluokan lentokoneeseen soveltuvista nykyaikaisista sähkö- ja avioniikkajärjestelmistä. Lisäksi työssä selvitettiin nykyaikaisten Electronic Flight Instrument Systems (EFIS) -näyttölaitteiden erilaisia ominaisuuksia ja toiminnallisuuksia. Yksittäisistä laitteista ja järjestelmistä tutkittiin syvällisesti manuaalien, erilaisten verkkolähteiden ja haastatteluiden avulla valmistajien erilaisia tapoja toteuttaa kokonaisuuksia ja laitteistojen toimintoja, jotta parhaita ominaisuuksia ja suurimpia eroavaisuuksia voitiin työssä käsitellä.

Työn tuloksina löydettiin useita harrasteilmailuun hyvin soveltuvia sähkö- ja avioniikkajärjestelmäkokonaisuuksia. Myös EFIS-näyttölaitteiden osalta markkinoilta löytyi useita laitteita, joissa on monia erilaisia, varteenotettavia ominaisuuksia. Markkinoiden hajanaisuus ja laitteiden ja järjestelmien keskinäisen vertailemisen vaikeus ja työläys ilmenivät työn aikana selvästi. Työssä havaittiin myös, että mitä suuremmat pohjatiedot ostajalla on sekä nykyaikaisista järjestelmistä että lentämisen perusedellytyksistä, sitä helpompi on perehtyä laitteistojen ominaisuuksiin ja eroavaisuuksiin. Työssä käsitellään muun muassa sitä, mitä kaikkea tietoa manuaaleista ja oppaista pystyy löytämään. Siten myös pohjatiedon laajuus vaikuttaa siihen käsitykseen, mitä tietoa täytyy vielä oppaiden lisäksi etsiä muista lähteistä.

Opinnäytetyön johtopäätöksinä voidaan todeta, että harrasteilmailijalle sähkö- ja avioniikkajärjestelmämarkkinat ovat tällä hetkellä todella laajat ja vaihtoehtoisia laitteita on monia. Markkinat mahdollistavat moneen erilaiseen käyttöön soveltuvien kokonaisuuksien rakentamisen. Osana johtopäätöksiä havaittiin markkinoiden vaativan ostajalta melko suuren pohjatiedon keräämisen ennen valintapäätöksen tekemistä, koska laitteiden ja niiden ohjekirjallisuuden erot eivät mahdollista helposti suoraa rinnakkaisvertailua laitteiden kesken. Opinnäytetyön perusteiden ja työn aikana luodun excel-laskentataulukon tuella on mahdollista valmistella yksityiskohtainen suunnitelma laitehankinnasta harrastelentokonehankkeessa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Production Engineering and Product Development

KARJANLAHTI, PEKKA:
Market Analysis
Modern Electric and Avionics Systems for Recreational Aviation

Bachelor's thesis 67 pages, appendices 1 page
November 2023

The main purpose of this thesis was to gather information about modern electric and avionics systems that are applicable to recreational aviation. The secondary aim of this study was to evaluate the features developed by different manufacturers for their modern Electronic Flight Instrument Systems (EFIS) and compare them to each other. The study was made for CSI Ltd.

The study primarily gathered data from manuals and various types of device guides. To provide background information and for wider understanding of the features and the devices themselves, additional data was also obtained from online publications and by interviews.

The findings indicate that the market offers a wide variety of effective solutions for avionics and EFIS systems at the time of the study. Similar features were implemented differently by various manufacturers. The study also emphasized that it is essential for customers to have a clear vision of their requirements to make informed decisions. Also, the customer should possess a strong foundational knowledge of avionics to identify the ideal solution for specific plane.

Key words: recreational aviation, avionics, efis

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	MARKKINASELVITYKSEN LÄHTÖKOHDAT	9
	2.1. Kohdeyritys	9
	2.2. Korpi CX-137.....	10
	2.3 Laki ja asetukset	13
	2.3.1 Suunnitteluperusteet lentokoneelle.....	13
	2.3.2 Suunnitteluperusteet mittari- ja avioniikkavarustukselle	14
	2.3.3 Suunnitteluperusteet sähköjärjestelmälle ja moottorinvalvonnalle	17
3	MARKKINASELVITYS	19
	3.1 Selvityksessä sovellettavat tutkimusmenetelmät.....	19
	3.2. Selvityksessä sovellettavat tutkimuskysymykset.....	21
	3.3 Markkinaselvityksen rajaus	22
	3.4 Markkinaselvityksen toteutus	23
4	MARKKINASELVITYKSEN TULOKSET	25
	4.1. Sähkö- ja avioniikkajärjestelmät.....	25
	4.1.1 Sähköjärjestelmän elektroninen suojaus	26
	4.1.2 Vertical Power	27
	4.1.2.1. PPS, Primary Power System.....	28
	4.1.2.2. VP-X.....	29
	4.1.3 AFS, Advanced Flight Systems	32
	4.1.4 MGL Avionics	34
	4.1.5 Garmin.....	36
	4.1.6 Approach Fast Stack	36
	4.1.7 Control Vision Corporation	37
	4.2. EFIS-näyttölaitteet.....	38
	4.2.1 Kosketusnäyttö	38
	4.2.2 Näytön koko	40
	4.2.3 Kustomointi ja näytön jako.....	42
	4.2.4 Näppäimet	43
	4.2.5 Mobiililaitteet.....	45
5	POHDINTA JA YHTEENVETO	48
	5.1. Yleistä	48
	5.2. Lähdeaineiston luotettavuus	50
	5.3. Hinta.....	53
	5.4. Laitevalinnat	53

5.5. Sähkö ja avioniikkajärjestelmä	56
5.6. Mittaristot	57
5.7. Vaihtoehtoiset laitteet.....	61
LÄHTEET	63
LIITTEET	67
Liite 1. Laitteiden vertailutaulukko	67

LYHENTEET JA TERMIT

ACM	Advanced Control Module
ADAHRS	Air Data, Attitude and Heading Reference System
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast system
ATS	Air Traffic Services
EASA	European Union Aviation Safety Agency
ECB	Electronic Circuit Breakers
EFIS	Electronic Flight Instrument System
ELT	Emergency Locator Transmitter
FAA	Federal Aviation Administration
GPS	Global Position System
IFR	Instrument Flight Rules
LSA	Light Sport Aircraft
MFD	Multi Function Display
NORSEE	Non Required Safety Enhancing Equipment
PPS	Primary Power System
SERA	Standardised European Rules of the Air
SPDU	Secondary Power Distribution Unit
Traficom	Liikenne- ja viestintävirasto
VFR	Visual Flight Rules

1 JOHDANTO

Ilmailun maailma on täynnä sääntöjä, määräyksiä ja ohjausta. Eräänlaisen poikkeuksen vahvasti säänneltyyn alaan tekee tyyppihyväksymätön ilmailu, niin sanottu harrasteilmailu, jonka sääntely on varsin väljää tyyppihyväksytyyn tai kaupalliseen ilmailuun verrattuna. Tyyppihyväksymättömän ilmailun sääntelyn väljyys mahdollistaa monia erilaisia, kokeellisiakin toteutuksia, niin koneen rakenteiden suhteen kuin sen järjestelmissäkin. (Lentotoiminta kansallisen sääntelyn piiriin kuuluvilla ilma-aluksilla 2020.)

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää experimental ja ultrakevyt harrasteilmailuluokkiin sijoittuviin lentokoneisiin soveltuvien modernien sähkö- ja avioniikkajärjestelmien ja nykyaikaisten EFIS-kuvaruutunäyttöjen parhaita ominaisuuksia, toteutuksia ja eroavaisuuksia, sekä niiden soveltuvuutta ja toisaalta myös järkevyyttä harrasteilmailun parissa. Tutkimuksen lähtökohtana oli tehdä markkinaselvitys CSI Oy:llä suunnitteilla olevaan harrasteilmailuluokan experimental-lentokoneeseen soveltuvista sähkö- ja avioniikkajärjestelmistä. Järjestelmiin perehtyessä tutkittiin myös sitä, rajoittaako valmistaja jotenkin erilaisten laitteiden liitettävyyttä järjestelmäkokonaisuuteen, ja siten vaikuttaako jonkin järjestelmän valinta suoraan joidenkin liitännäislaitteiden valintaan. Työssä huomioitiin myös harrasteilmailuluokan lentokoneisiin sovellettavia säännöksiä niiltä osin, kuin ne koskevat työssä käsiteltäviä aiheita.

Nykyinen elektroniikan kehitys näkyy kuluttajaelektroniikan lisäksi myös ilmailun parissa. Erilaiset elektronisesti ohjatut järjestelmät ja mittaristot syövät pala palalta perinteisten analogisten järjestelmien markkina-alaa niin lentokoneiden uus-tuotannossa kuin vanhojen järjestelmien modernisoinnissakin. Elektronisten järjestelmien kehittymisen lisäksi kevyemmät ja ympäristöystävällisemmät materiaalit, kansainvälisten ilmailusäännösten yhdenmukaistuminen ja vallitseva maailmantilanne esimerkiksi komponenttipulallaan tuovat omilta näkökanteiltaan lisänsä tämän hetken ilmailun suunnitteluprosesseihin. (Tuorila 2020.)

Erilaiset lentokonejärjestelmien toteutukset nojaavat peruslähtökohdiltaan samanlaisiin lähtöasetelmiin lakien, asetusten ja fysiikan lakien suhteen. Vaikka peruselementit ovatkin valmistajilla ja järjestelmien rakentajilla keskenään saman suuntaisia, erilaisia toteutuksia samoilla lähtökohdilla on kuitenkin lähes yhtä monta kuin on niiden suunnittelijoitakin. Laitteistojen eroavaisuuksia toteutuksien välillä on laajalti muuan muassa siinä, miten eri valmistajien laitteistoja voi yhdistää toisiinsa, mikä vaikeuttaa täsmällisen vertailun tekemistä laitteiden välillä. Tämän vuoksi opinnäytetyöhön pyydettiin kirjallisten lähteiden tueksi myös luotettavaksi koettujen ilmailualan henkilöiden henkilöhaastatteluja, jotta työllä olisi todellista ja ajantasaista merkitystä suomalaisissa harrasteluokan ilmailupiireissä.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään erilaisten nykyaikaisten sähköjärjestelmien ja EFIS-mittaristojen ominaisuuksien esittelemiseen mahdollisuuksien sallimissa rajoissa. Eri valmistajien tuotteita käytetään työssä esimerkkeinä ja syvennytään valmistajien erilaisiin toteutuksiin. Valmistajia tai yksittäisiä laitteita ei kuitenkaan arvoteta minkäänlaiseen järjestykseen, vaan niitä käytetään ainoastaan pohjana erilaisten toteutuksien ja ominaisuuksien esittelyssä. Työn suurimpana pyrkimyksenä oli tuottaa tämänhetkistä markkinoiden sallimista mahdollisuuksista käytökelpoista ja hyödynnettävää ymmärrystä harrasteilmailijoiden käytettäväksi.

2 MARKKINASELVITYKSEN LÄHTÖKOHDAT

2.1. Kohdeyritys

Opinnäytetyön tilaajana toimii kasvava pirkanmaalainen CSI - Composite Solutions and Innovations Oy. Yritys tilasi selvityksen tukemaan yrityksen suunnitteilla olevan experimental-lentokoneen sähkö- ja mittarijärjestelmän suunnittelua. Yrityksen toimialaan kuuluvat laaja-alaisesti teollisuuden erilaiset komposiittitoteutukset, –suunnittelut ja innovaatiot. Pääasiallisina liiketoiminta-aloina yrityksellä ovat koneenrakennus, terveydenhuoltolaitteiston ja -välineistön kehitys ja urheiluvälinekehitys. Yritys tarjoaa palveluitaan ainoastaan teollisuuden toimialoille, yksityisasiakkaita yritys ei palvele. Omaa malli- tai sarjatuotantoa yrityksellä ei ennen lentokonehanketta ole aiemmin ollut, vaan kaikki suunnitellut ja valmistetut tuotteet ovat olleet yritysasiakkaiden tilaustuotteita. (CSI Oy 2020.)

Yritys on keskittynyt vahvasti hiilikuituteknologiaan, mutta suunnittelee ja toteuttaa tuotteita muistakin lujitteista, kuten lasikuidusta ja Kevlarista. Tuotteiden valmistukseen käytetään monia erilaisia tuotantotapoja: alipaineinjektointia, hartsinsiirtomuovausta ja erilaisia puristusmenetelmiä, riippuen valmistettavasta tuotteesta ja siihen käytettävästä materiaalista. Yritys suunnittelee ja mallintaa itse kaikki valmistamansa tuotteet asiakkaidensa tarpeiden mukaisesti. (CSI Oy 2020.)

Valmistettavien tuotteiden koko vaihtelee asiakastarpeiden mukaisesti, tyypillisesti noin kahdesta metristä jopa 15 metrin mittaisiin kappaleisiin. Myös sarjakoot ovat asiakasriippuvaisia yksittäiskappaleista muutaman tuhannen kappaleen sarjoihin. Tuotteita valmistetaan ainoastaan tilauksesta, eikä valmiita varastoja pidetä käytännössä ollenkaan. Valmiiden tuotteiden lisäksi yritys tarjoaa palveluina myös työvälineet ja niiden suunnittelun ja valmiiden tuotteiden kokoonpanon ja varustelun. (CSI Oy 2020.)

Kokonaisen lentokoneen suunnittelu ei aiemmin ole kuulunut yrityksen toimialaan, mutta suunnittelijoiden laaja-alainen toiminta harrasteilmailun parissa

on kasvattanut tietotaitoa ja ymmärrystä ilmailualasta. Harrastuneisuus ja yrityksen aiemmat kaupallisten lentokonetyyppien yksittäisten komposiittiosien suunnittelu ja valmistus ovat mahdollistaneet ja innostaneet uuden, harrasteilmailuluokkaan sijoittuvan konetyypin suunnittelun komposiittirakenteita hyödyntäen.

2.2. Korpi CX-137

Opinnäytetyön pohja-ajatuksena toimi CSI Oy:n suunnittelema kannuspyörä experimental-luokan lentokone (kuva 1). Työn valmistuessa kone on vielä suunnitteluasteella, eikä siitä ole vielä valmistettu prototyyppiä. Kone voidaan aikanaan rekisteröidä Suomessa kansallisessa rekisterissä experimental-luokan lentokoneeksi tai ultrakevyeksi lentokoneeksi. Koneen suunnittelulähtökohtina on kuitenkin käytetty LSA-luokittelun mukaisia perusteita, koska konetta tultaneen aikanaan markkinoimaan muun muassa Yhdysvalloissa. (CSI Oy 2020.)



KUVA 1. Korpi CX-137. (CSI Oy 2023)

Koneen kantavana suunnitteluperusteena on koko suunnittelutyön ajan ollut rakenteiden suunnittelu erilaisista komposiittirakenteista kuten hiilikuitu. Muina reunaehtoina on käytetty LSA-luokan lentokoneen suunnittelun ohjaamia vaatimuksia. LSA-luokan vaatimukset täyttävälle lentokoneelle markkinat aukeavat myös Yhdysvalloissa, missä ilmailumarkkinat ovat Suomea ja Eurooppaa suuremmat. Vaikka kone itsessään suunnitellaankin täyttävän LSA-koneelle asetetut vaatimukset, LSA-luokan suunnitteluperusteita ei käsitellä tässä työssä, koska ne eivät kosketa itse opinnäytetyön aihetta, vaikka suunniteltavaa konetyyppeä koskettavatkin. (CSI Oy 2020.)

Perinteiseen alumiinipuolikuorirakenteeseen verrattuna suunnittelun alla oleva kone on saatu suunniteltua painoltaan saman kokoluokan koneeseen verrattuna huomattavasti kevyemmäksi. Painoeroa saman kokoluokan alumiinirakenteeseen verrokkiponeeseen, Cessna 172 Rocketiin on noin 150 kg. Kevyempi koneen rakenne mahdollistaa suuremman hyötykuorman, eli joko suuremman matkatavaramäärän tai enemmän polttoainetta, mikä lisää toimintasädettä. Koneen pääsuunnitteluajatuksena ei kuitenkaan ole ollut mahdollisimman kevyt rakenne, vaan rakenteet on suunniteltu toiminnallisuudet edellä. Siitä huolimatta, että kone on hiilikuiturakenteisena kevyempi verrokkeihinsa verrattuna, sen rakenteet ovat alumiinista konetta kestävämmät. (CSI Oy 2020.)

Yksi koneen suuntaa antavista suunnitteluperusteista on ollut koneen hyvä soveltuvuus niin sanottuun ”puskalentämiseen”. Puskalentämisellä tarkoitetaan lentämistä sellaisilta lentopaikoilta, jotka eivät ole virallisia lentokenttiä, vaan esimerkiksi niin sanottuja korpikenttiä. Myös vesilentäminen, eli erilaisilta vesistöiltä tapahtuva lentoonlähtö ja veteen laskeutuminen mielletään osaksi puskalentämistä. Koneen rakenteisiin onkin pyritty hakemaan erityisesti puska- ja vesilentämiseen soveltuvia hyviä suunnitteluideoita.

Yksi puskalentämiseen hyvin soveltuvista teknisistä rakenteista löytyy siiven rakenteesta. Tavanomaisesti toteutettu alumiinirakenteinen siipi on yleensä jäykistetty siiven suunnassa pitkittäisillä siipisaloilla ja poikittaisilla siipikaarilla (Lentäjän käsikirja 2001, 52). Suunnittelun alla olevassa koneessa puhtaasti komposiittilevyrakenteena suunniteltu siipi olisi jäykkyyden puolesta riittänyt kantamaan kuorman jo pelkästään ohuena, perinteisenä komposiittilevyrakenteena (CSI Oy 2023). Vaikka lentotoimintavaatimuksissa lentokoneen rullaamisesta sanotaan, että lentokonetta rullaavan henkilön tulee tunnistaa sopivat rullaus- ja pysäköintipaikat (Lentotoimintavaatimukset 2016, 26), on puskalentäminen nimensä mukaisesti toisinaan jopa lähes puskiasta tapahtuvaa lentämistä. Reunaesteet saattavat tällöin olla hyvin lähellä konetta lentoonlähdössä ja laskeutuessa, sekä maakäsittelyn, esimerkiksi rullaamisen aikana. Mikäli kone osuisi reunaesteseen vaurioittaen siipeä, siiven korjausprosessi korpiolosuhteissa olisi melko vaativa ja työläs kaikkine korjauspaloineen ja mahdollisine tarvittavine lisäjäykisteineen, mikäli siiven rakenne olisi puhdas komposiittilevyrakenne. Kun siipi on

suunniteltu perinteisen puolikuorirakenteen kaltaisesti (kuva 2), mahdolliset korjaustoimet rajoittunevat huomattavasti pienemmille alueille ja ovat siten toteutettavissa yksinkertaisemmin keinoin kuin puhdas komposiittilevyrakenne. (CSI Oy 2023).



KUVA 2. Siiven rakenne noudattelee perinteistä puolikuorirakennetta. (CSI Oy 2023)

Siiven profiilin, mallin ja rakenteen suunnittelussa on käyty erilaisia malliratkaisuja läpi. Esimerkiksi siiven kiinnitys on pyritty ratkaisemaan siten, että siiven lisätuet, niin sanotut streevat, on pystytty jättämään siivestä kokonaan pois, jolloin muun muassa vesilentämisessä kellukkeille kulkeminen ja esimerkiksi rantautumistoimet ovat huomattavasti helpompia. (CSI Oy 2023.)

Varsinaisen lentokonerungon ohella koneen suunnitteluprosessiin on liitetty puskalentämisen kaksi muutakin elementtiä: talvioperointia helpottavat komposiittisukset ja vesilentämiseen soveltuvat komposiittikellukkeet (kuva 3). Sekä sukset että kellukkeet ovat itsenäisiä tuotteita, mutta ovat aikanaan suoraan liitettävissä Korpi CX-137 koneeseen. Sukset ja kellukkeet ovat jo tuotteistetut itsenäiset tuotteet, joista suksia on prototyyppinä jo kokeiltu. Kellukkeista on opinnäytetyön valmistuessa ensimmäiset vedokset toteutettu, mutta varsinainen testilentäminen on vielä suorittamatta. (CSI Oy 2023.)



KUVA 3. Kelluke. (CSI Oy 2023)

2.3 Laki ja asetukset

Tässä osiossa käsitellään opinnäytetyön kannalta keskeisiä lain ja asetusten asettamia perusteita harrasteilmailulle. Laki- ja asetusperusteista nostetaan työssä käsiteltäväksi sellaisia osia, mitkä vaikuttavat siihen, miten lentokone määritellään harrasteilmailuluokkaan kuuluvaksi. Toisekseen osiossa käsitellään sellaisia lainsäädännön perusteiden osia, mitkä vaikuttavat työssä käsiteltävien erilaisten järjestelmien ja laitteiden valintaan, ja mitkä tulisi säädösperusteista järjestelmiä suunnitellessa huomioida.

2.3.1 Suunnitteluperusteet lentokoneelle

Ilmailuteollisuus on kokonaisuudessaan tarkasti säädeltyä, pääasiassa kansainvälisellä lainsäädännöllä. Eurooppalainen lainsäädäntötaho ilmailun osalta on EASA. EASA antaa Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa (EU) 2018/1139 jäsenvaltioille mahdollisuuden säätää muun muassa harrasteilmailusta itsenäisesti artiklan kaksi, kohdan 8. mukaisesti;

8. Jäsenvaltio voi päättää myöntää poikkeuksen tämän asetuksen soveltamisesta yhden tai useamman seuraavan ilma-alusluokan suunnitteluun, valmistukseen, huoltoon ja lentotoimintaan:

a) muut lentokoneet kuin miehittämättömät lentokoneet, joissa on enintään kaksi paikkaa, joiden mitattavissa oleva sakkausnopeus tai pienin vakaa lentonopeus laskuasussa on enintään 45 solmua kalibroittua ilmanopeutta ja joiden suurin sallittu lentoonlähtömassa on jäsenvaltion rekisterien mukaan enintään 600 kilogrammaa sellaisten lentokoneiden osalta, joita ei ole tarkoitettu käytettäväksi vedessä, tai 650 kilogrammaa sellaisten lentokoneiden osalta, jotka on tarkoitettu käytettäväksi vedessä. (Asetus 2018/1139/EU.)

Myös suomalainen Ilmailulaki antaa suoran ohjauksen, minkä mukaisesti: ”Tätä lakia sovelletaan 2 §:n 4 kohdassa tarkoitetun EASA-asetuksen 2 artiklan 8 kohdassa tarkoitettuihin ilma-alusluokkiin kuuluvien ilma-alusten suunnitteluun, valmistukseen, huoltoon ja lentotoimintaan.” (Ilmailulaki 2014/864).

Ultrakevyet ja experimental-lentokoneet luetaan kuuluvaksi ilma-aluksina harrasteluokkaan (Suokas & Hiedanpää 2003, 5), ja siten niiden valmistusta säännellään siis kansallisella sääntelyllä. Kansallinen lainsäädäntö pääosiltaan noudattelee kansainvälisiä lakeja ja määräyksiä, joitakin kansallisella tasolla tärkeiksi

katsottuja aiheita lukuun ottamatta (Suomessa sovellettavat lentosäännöt 2016, 3). Suomen toimivaltainen viranomainen kansallisten ilma-alusten suhteen oli aiemmin Liikenteen turvallisuusvirasto (Traficom 2016, 14), nykyisin Liikenne- ja viestintävirasto.

Harrasterakenteiseksi lentokone katsotaan silloin, kun ”valmistus- ja kokoonpanotehtävistä vähintään 51 prosenttia suorittaa harrasterakentaja tai voittoa tavoittelematon harrasteyhdistys omiin tarkoituksiinsa ja ilman kaupallisia tavoitteita” (Harrasterakenteisten ilma-alusten rakentaminen 2022, 1).

Suunnittelun kohteena oleva lentokone tultaneen aikanaan rekisteröimään experimental-luokkaan, mutta se voidaan rekisteröidä myös ultrakevyiden lentokoneiden B2 luokkaan. Määräyksen AIR M5-10 mukaan:

luokan B2 ultrakevyellä lentokoneella [tarkoitetaan] lentokonetta, jonka suurin sallittu lentoonlähtömassa on yksipaikkaisilla maalentokoneilla enintään 450 kg ja yksipaikkaisilla amfibio- tai vesilentokoneilla enintään 500 kg, sekä kaksipaikkaisilla maalentokoneilla enintään 600 kg ja kaksipaikkaisilla amfibio- tai vesilentokoneilla enintään 650 kg, ja jonka sakkausnopeus tai pienin vakaa lentonopeus laskuasussa on enintään 83 km/h CAS (45 solmua). (Ultrakevyiden ilma-alusten lentokelpoisuus ja valmistus 2020, 2.)

2.3.2 Suunnitteluperusteet mittari- ja avioniikkavarustukselle

Harrasteilmailuluokan ilma-aluksien varusteiden vaatimukset määritellään määräyksessä AIR M5-10. Määräys päästää harrasteilma-alukset melko pienillä vaatimuksilla mittarivarustuksen suhteen, todeten ainoastaan, että: ”Mittareiden on oltava tarkoitukseen sopivat ja niihin on tehtävä valmistajan lento-ohjekirjassa tai ’Suomalaisten ultrakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirjassa’ mainitut merkinnät.” (Ultrakevyiden ilma-alusten lentokelpoisuus ja valmistus 2019, 5). Tarkemmin varustusta kuitenkin ohjaa Suomalaisten ultrakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirja, missä sanotaan seuraavasti:

1303* Seuraavat lennonvalvonta- ja suunnistusmittarit vaaditaan:

1. Korkeusmittari
2. Ilmanopeusmittari
3. Magneettikompassi
4. Luisumittari

(Suokas & Hiedanpää 2003, 15.)

Tarvittaessa näistäkin määräyksistä voidaan kuitenkin poiketa, ainakin periaatteessa, koska määräyksen alussa määritetään seuraavasti:

Tarkastuskäsikirjan kohdat, * merkittyjen kohtien tavoitteesta voidaan poiketa, mikäli lentoturvallisuustaso ei heikkene. Poikkeus on perusteltava tyyppitarkastuskertomuksen yhteenvedossa. Tyyppitarkastuksessa voidaan asianomaisen kohdan tavoitteiden täytyminen arvioida ja sen perusteella todeta onko saavutettava lentoturvallisuustaso riittävä. (Suokas & Hiedanpää 2003, 5.)

Mittareiden osalta harrasteilmailu pääsee hieman helpommalla kuin muu ilmailu. Helputukset perustuvat siihen, että ensinnäkin määräys AIR M5-2 kertoo, että harrasterakenteisille ilma-aluksille ei myönnetä tyyppihyväksyntää vaan lupa ilmailuun (Harrasterakenteisten ilma-alusten rakentaminen 2022, 2). Määräys OPS M2-11 taas kertoo, että niille koneille, joille myönnetään ainoastaan lupa ilmailuun, asennettujen mittareiden ”on oltava aiottuun toimintaan tarkoitettuja ja soveltuvia” (Lentotoiminta kansallisen sääntelyn piiriin kuuluvilla ilma-aluksilla 2020, 9). Lisäksi määräys AIR M5-1 ohjaa vielä lentokoneen varusteista siten, että ”varusteen on toimittava turvallisesti kaikissa todennäköisissä toimintaolosuhteissa” (Harrasterakenteisten sekä tutkimus-, kokeilu- tai tieteellisiin tarkoituksiin valmistettujen ilma-alusten lentokelpoisuusvaatimukset 2020, 5).

Mittaristoista ohjataan vielä erikseen määräyksessä OPS M2-11 siten, että lentoarvojen esittämiselle täytyy olla jokin vaihtoehtoinen menetelmä, mikäli lentoarvoja osoittavaksi mittaristoksi valitaan ainoastaan yksi EFIS-kuvaruutunäyttö. Tällöin tulee ilmanopeuden ja ohjaussuunnan esittämiselle olla jokin varamenetelmä. (Lentotoiminta kansallisen sääntelyn piiriin kuuluvilla ilma-aluksilla 2020, 11.)

Suomalaisten Ultrakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirjassa annetaan tämän työn kannalta merkittävimmät rajaukset mittarivarustuksen valintaa tehdessä. Aiemmin mainittujen painoluokkien lisäksi tämän työn kannalta rajattavaksi aiheeksi mainitaan käsikirjassa taitolento:

Ultrakevyet lentokoneet kuuluvat erityislaatuina ilma-aluksina koe- ja harrasteluokkaan (experimental). Rakennevaatimukset on laadittu vain normaalia lentämistä silmällä pitäen, minkä vuoksi taitolento ei ole sallittua tämän ohjeen vähimmäisvaatimusten mukaisesti rakennetuille ultrakevyille lentokoneille. (Suokas & Hiedanpää 2003, 5.)

Koska suunnittelun kohteena olevalla koneella ei ole tarkoitus lentää taitolentoa, eikä sitä siihen tarkoitukseen suunnitella, koneeseen ei siten lakiperusteisesti ole tarpeen suunnitella mittarivarustakaan siten, että sillä olisi selviydyttävä taitolennosta.

Määräys OPS M2-11 taas ohjaa koneen mittarivarustusta siten, ettei mittarilento-olosuhteita tarvitse ottaa suunnittelussa huomioon, koska harrasteilmailuun tarkoitettulla koneella saa lentää ainoastaan näkölento-olosuhteissa (Lentotoiminta kansallisen sääntelyn piiriin kuuluvilla ilma-aluksilla 2020, 7). Näkölento-olosuhteet määritellään määräyksessä OPS M1-1, Suomessa sovellettavat lentosäännöt, näkölento-olosuhteita ei kuitenkaan käsitellä erikseen tässä työssä.

Opinnäytetyön aiheisiin ei suoranaisesti sisälly ilma-aluksen radioliikennevarustus. Kuitenkin jäljempänä tässä työssä huomioidaan käytännön suunnittelun yhteydessä kevyesti myös sitä, miten muun muassa radiovarustus tai toisiotutkavastain, eli transponderi, saattavat olla yksiä niistä varusteista, jotka voidaan integroida osaksi avioniikkakokonaisuutta. Tämän vuoksi myös radio- ja transponderivarustuksia koskevat määräykset on syytä huomioida järjestelmän suunnittelussa.

Suomessa noudatetaan pääosiltaan EU:n yhteisiä lentosääntöjä, SERA, mistä on johdettu Suomessa sovellettavat lentosäännöt. Määräyksen OPS M1-1 mukaisesti, riippuen lennon sijainnin mukaisesta ilmatilaluokituksesta, ilma-aluksessa tulee olla ilmailutaajuuksille soveltuva radio: ”2.32.1 SERA.14080 a) kohdan osalta määrätään, että lennon aikana on kuunneltava radiota ilmatilaluokituksen vaatimusten mukaisesti.” (Suomessa sovellettavat lentosäännöt 2016, 10). Lisäksi Suomen ilmailukäsikirja määrää radiolaitteista seuraavasti:

4 RADIOVARUSTUS

Johdetulla VFR-lennolla olevan ilma-aluksen tulee olla varustettu vähintään yhdellä radiolaitteella kaksipuolista radioliikennettä varten ao. ATS-elimien kanssa, kun:

- a) lento tai sen osa suoritetaan ilmatilaluokissa B, C, D tai
- b) radiovyöhykkeellä (RMZ) tai
- c) tunnistusvyöhykkeellä (ADIZ) (ks. ENR 5.2).

(Suomen ilmailukäsikirja 2023.)

Tällä hetkellä radiolaitteiden hankintaa suunnitellessa on syytä huomioida lisäksi määräyksen OPS M1-30 mukaisesti vuonna 2028 voimaan astuva määräys, joka

vaatii radiolaitteiden toimivan 8,33 kHz:n kanavälillä silloin kun lennetään valvomattomassa ilmatilassa. (Poikkeus 8,33 kHz:n kanavavälillä toimivien radioiden käyttöön otosta 2017, 1.)

Suomen ilmailukäsikirja määrittelee tilanteet, joissa transponderia tulee käyttää (Suomen ilmailukäsikirja 2023). Mikäli lentokoneella suoritettava lentotoiminta tulee sijoittumaan edellä mainitussa määräyksessä mainituille transponderin käyttöpakkoalueille, tulee myös transponderi sisällyttää avioniikkajärjestelmän suunnitteluun.

Erillisenä järjestelmänä määräyksessä OPS M2-11 ohjataan myös ELT hätäpaikannusjärjestelmästä. Määräyksessä hätäpaikannusjärjestelmä määritellään koskemaan myös koneita, joilla ei ole tyyppihyväksyntää, eli koneita, joille on myönnetty ainoastaan lupa ilmailuun (Lentotoiminta kansallisen sääntelyn piiriin kuuluvilla ilma-aluksilla 2020, 10). Hätäpaikannuslaite voi olla täysin itsenäinen laite. Nykyaikaiset järjestelmät kuitenkin mahdollistavat ELT-paikannuslaitteiden paikannustiedon perustuvan myös GPS-sijaintiin. Pääsääntöisesti harrasteilmailuun soveltuvat ELT-laitteet eivät kuitenkaan itsessään sisällä GPS-paikanninta, vaan laitteet ottavat yleensä sijaintitietonsa avioniikkajärjestelmästä. Tämän vuoksi myös ELT-laitteen ohjaus on syytä huomioida, mikäli valitaan laite, jonka toiminta perustuu koneen avioniikkajärjestelmästä saatavaan paikkatietoon.

2.3.3 Suunnitteluperusteet sähköjärjestelmälle ja moottorinvalvonnalle

Mittarivarustustakin pienemmälle ohjaukselle harrasteilmailuluokan lentokoneissa jää lentokoneen sähköjärjestelmän ja moottorinvalvonnan ohjaus. Käytännössä lentokoneen sähköjärjestelmästä ohjataan ainoastaan moottorin sytytysjärjestelmän osalta, josta siitäkin vain: ”1165* Jos moottorin sytytysjärjestelmä on riippuvainen generaattorista tai akusta, tulee sähköjärjestelmään asentaa jännite tai ampeerimittari. Sytytysjärjestelmän virransaanti on myös tällöin varmistettava riittävällä varajärjestelmällä.” (Ultrakevyiden ilma-alusten lentokelpoisuus ja valmistus 2019, 15). Lisäksi edellä mainittujen mittareiden osalta määräys AIR M5-10 mahdollistaa tyyppihyväksymättömän mittarivalinnan kuten lennonvalvontamittareillekin (Ultrakevyiden ilma-alusten lentokelpoisuus ja valmistus 2019, 5).

Lisäksi moottorinvalvontajärjestelmistä Suomalaisten ultrakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirjassa määrätään:

1305* Seuraavat moottorinvalvontamittarit vaaditaan:

1. Moottorin pyörimisnopeusmittari
2. Polttoaineen määrämittari, ellei polttoaineen määrää lennon aikana voida luotettavasti muutoin todeta.
3. Kaksitahtimoottoreissa pakokaasun- tai sylinterinpään lämpömittari.
4. Jos moottorin varma toiminta tai moottorin valmistaja vaatii erityistä mittarivalvontaa, on lentokoneessa oltava kyseinen mittari.
(Suokas & Hiedanpää 2003, 16.)

Lennonvalvontamittariston tapaista varajärjestelmää moottorinvalvontamittaristolle ei vaadita, vaikka mittaristoksi valittaisiinkin ainoastaan yksi EFIS kuvaruutunäyttö (Lentotoiminta kansallisen sääntelyn piiriin kuuluvilla ilma-aluksilla 2020, 11).

3 MARKKINASELVITYS

Ennen työn varsinaisen selvityksen aloittamista, tehtiin vallitsevista markkinoista esiselvitys. Esiselvityksen perusteella tarkempaan tekniseen vertailuun valittiin modernit sähkö- ja avioniikkajärjestelmät ja nykyaikaiset EFIS-mittaristot. Esiselvityksen pohjalta muun muassa vanhojen järjestelmien modernisointiin soveltuvat, pääsääntöisesti yhtä lennonvalvontamittaria korvaavat EFIS-mittaristot jätettiin varsinaisen tutkimuksen ulkopuolelle.

Opinnäytetyön varsinaisessa markkinaselvityksessä sovelletaan laadullisia tutkimusmenetelmiä, mutta koska työn ei ole tarkoituksenmukaista täyttää tutkimuksen vaatimuksia, työ toteutetaan markkinaselvityksenä.

3.1 Selvityksessä sovellettavat tutkimusmenetelmät

Eri valmistajien tuotteita ja sovelluksia verrataan selvityksessä toisiinsa parivertailuna, joskaan vertailuilla ei pyritä järjestämään yksittäisiä laitteita paremmuusjärjestykseen. Parivertailuilla haetaan vertailtavien laitteiden keskinäisiä eroavaisuuksia ja tapoja, miten jotkin asiat kyseisissä tuotteissa on toteutettu. Vertailututkimuksen tuloksia käytetään pohjana laadulliselle tutkimukselle, mikä on työn pääasiallinen kantava toteutustapa.

Laadullisen tutkimuksen keinoin pyritään löytämään laitteistojen ja sovelluksien parhaita ominaisuuksia ja niiden erilaisia toteutustapoja, Eskolan ja Suorannan ohjaamana, ”mahdollisimman objektiivisesti” (1998, 17). Työssä joudutaan kuitenkin rajaamaan esimerkiksi tutkittavien valmistajien ja laitteiden määrää, koska kuten Eskola ja Suorantakin mainitsee: ”Ongelmana nimittäin on, että laadullinen aineisto ei lopu koskaan.” (1998, 19). Muutamista laitteista voitaisiin työn edessä tehdä myös tarkkarajainen parivertailu, mutta kuten Vallikin toteaa (2018, 143), suoralla parivertailulla ei kovin laajaa sisältöä saataisi aikaiseksi. Tämän vuoksi varsinainen parivertailu jätetään työssä ainoastaan alkuvaiheen ominaisuuksia rajaavaksi menetelmäksi.

Kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on löytää markkinaselvitykselle asetetuille tutkimuskysymyksille vastauksia ja työssä esiteltäväksi nostettavia laitteistoja ja laitteistojen ominaisuuksia. Kirjallisuuslähteistä selvitetään esiselvityksen perusteella valittujen laitteistojen toimintaperiaatteita ja eroavaisuuksia toisiinsa nähden. Kaikkien selvitykseen valittavien valmistajien tarjoama, laitteistokohtainen ohjekirjallisuus tutkitaan, jotta laitteistojen ja niiden toimintojen eroavaisuuksia voidaan vertailla keskenään. Valmistajien kirjallisuuslähteistä löydetyille laitteistojen toiminnallisuuksille ja laitteistojen välisille eroavaisuuksille pyritään tutkimuksessa löytämään muun muassa parivertailuilla ja haastatteluilla varteenotettavia käyttömahdollisuuksia harrasteilmailussa. Valmistajien tuottamien kirjallisuuslähteiden tueksi käytetään täydentävinä lähteinä verkkojulkaisuja, parivertailuja ja haastatteluja. Kirjallisuusselvityksellä etsitään myös laitteistojen käyttöä ja toiminnallisuuksia rajoittavia tekijöitä, mitkä voivat vaikuttaa siihen, mitä laitteistoja lentokoneeseen valitaan. (Vuori n.d.)

Parivertailua ja laadullista tutkimusta täydennetään työtä varten laaditulla excel-laskentataulukolla (liite 1). Taulukossa erilaisia laitteiden ja järjestelmien ominaisuuksia ja laadullisia havaintoja pystytään painottamaan ominaisuuksien mukaisesti, ja siten tuottamaan keskenään vertailtavissa olevista laitteista pisteytettyjä tuloksia laitteistovalinnan tueksi. Kuusiston (2000, 53) ohjaamana, taulukon yhtenä tarkoituksena on tuottaa vertailussa näkyväksi myös laitteistojen turvallisuuden aktiivisia ominaisuuksia. Pisteytystaulukkoa ei kuitenkaan opinnäytetyön tuloksissa hyödynnetä, vaan se rakennettiin ja luovutetaan työn tilanneelle yritykselle hyödynnettäväksi lopullista laitteistovalintaa tehdessä.

Yksi osa opinnäytetyössä sovellettavista menetelmistä on asiantuntijahaastattelut. Haastattelujen tarkoitus on tuottaa täydentävää lähdeaineistoa, koska viime vuosilta on hyvin vähän painettua kirjallisuutta aiheen ympäriltä saatavilla. Toisaalta elektroniikka-ala muuttuu jo muutamassa vuodessa niin paljon, että ajantasaisia lähteitä olisi jo siksikin hankala saavuttaa. Kuten Valli (2018, 30) Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1 -teoksessaan haastateltavien valintaa opastaa, pyritään tähänkin työhön löytämään haastateltaviksi henkilöitä, joiden kompetenssi riittää valottamaan alan tämän hetkisiä näkökulmia. Haastateltavien valintaperusteina käytetään muun muassa tunnettuutta suomalaisissa harrasteilmailupiireissä, aihepiirin tietotaidon syvyyttä ja laajuutta, sekä tietouden ajantasaisuutta.

Asiantuntijahaastatteluilla selvitetään erilaisten järjestelmien ja laitteiden ominaisuuksien ja niiden vaikutuksia laitevalintaprosessiin. Haastatteluissa haastateltaville esitetään opinnäytetyön tarkoitus ja työssä siihen mennessä löydetyt havainnot. Haastattelukysymykset asetetaan haastateltaville työssä siihen mennessä ilmenneistä kysymyksistä, mihin ei kirjallisuuden perusteella ole löytynyt suoraa vastausta. Haastatteluissa ilmenneiden huomioiden ohjaamana täydennetään lähdetietoja siten, että kysymyksiin etsitään vastauksia haastatteluaineiston lisäksi kirjallisuuslähteitä. (Hyvärinen & Suoninen & Vuori n.d.)

Työssä hyödynnetään osittain myös sosiaalisissa medioissa tehtäviä avoimia sähköisiä kyselyjä. Kyselyissä ei tulla suoraan esittämään osallistujille työssä sovellettavia tutkimuskysymyksiä, vaan kysymykset tullaan esittämään avoimina kysymyksinä, joihin vastaajilla on mahdollisuus vastata, kuten parhaakseen katsovat. Kuten Valli ja Perkkiläkin (2018, 126) ohjaavat sosiaalisen median sisältöjen käytön etiikasta, näillä kyselyillä ei pyritä varsinaisesti hakemaan selvitykseen laadullista sisältöä, eikä niitä tässä työssä käytetä suorina lähteinä.

Sosiaalisen median kyselyiden tavoitteena on löytää ilmailuelektroniikan markkinoilta laitteita ja valmistajia, joita selvityksessä ei muuten arvioida kohdattavan. Kyselyn tuloksina löydetyistä uusista tuotteista ja sovelluksista tehdään laadullisia tutkimuksia. Sosiaalisen median kyselyt suunnataan ainoastaan ilmailuorientuneille, sekä suomalaisille että pääosin amerikkalaisille keskustelupalstoille, erilaisille keskustelualustoille, kuten Facebookin ilmailuryhmiin ja erilaisille ilmailu-aiheisille keskustelufoorumeille.

3.2. Selvityksessä sovellettavat tutkimuskysymykset

Tärkeimmäksi opinnäytetyössä sovellettavaksi tutkimuskysymykseksi asetettiin seuraava: millaisia huomioon otettavia ominaisuuksia markkinoilla tällä hetkellä olevissa nykyaikaisissa harrasteilmailuluokan koneisiin soveltuvissa EFIS-kuvaruutunäytöissä on tällä hetkellä. Toinen pääkysymys selvitykselle muodostettiin näin: millaisia vartenotettavia, harrasteilmailuluokan koneisiin soveltuvia avioniikka- ja sähköjärjestelmiä markkinoilla on tällä hetkellä.

Jotta selvityksessä sovellettavien tutkimuskysymysten ratkaisuille saadaan luotettava tausta, tutkimuskysymykset vaativat muutaman apukysymyksen. Koska selvityksen kohteena olevat mittari- ja kokonaisjärjestelmät ovat vaikeasti vertailtavissa keskenään, muun muassa erilaisten liitännäislaitteiden suhteen, tutkimuskysymyksille asetettiin apukysymyksiä seuraavasti:

- Millaisia ominaisuuksia EFIS-kuvaruutunäytöiltä tulisi vaatia?
- Mitä rajoitteita erilaiset liitännäislaitteet aiheuttavat järjestelmävalinnalle?
- Vaikuttaako kokonaisen sähkö- tai avioniikkajärjestelmän valinta EFIS-laitteiden ja muiden liitännäislaitteiden valintaan?

Ensimmäinen apukysymys auttaa rajaamaan joitakin laitteita selvityksen ulkopuolelle. Kysymyksen tueksi tehdään muun muassa erilaisia haastatteluita, joilla pyritään auttamaan valintaa sellaisista ominaisuuksista, millä voidaan tutkittavien laitteiden määrää karsia.

Toinen apukysymys on merkityksellinen, koska erilaiset kokonaisjärjestelmät ovat valmistajasta riippuen rajattu toimimaan ainoastaan muutamien tiettyjen laitteiden kanssa yhtenä kokonaisuutena. Tämän vuoksi liitännäislaitteiden osalta joudutaan tutkimaan esimerkiksi, voidaanko ne liittää osaksi johonkin tiettyyn järjestelmään. Koska kaikki yksittäiset laitteet ja järjestelmät eivät tunnista toisiaan, eivätkä valmistajat tue kaikilta osin toistensa tuotteita, pyritään tämän apukysymyksen avulla havaitsemaan sellaisia laitteita ja valmistajia, joiden ominaisuuksien tutkimista ei tämän työn osana ole järkevää tutkia.

Kolmas apukysymys auttaa osaltaan vastaamaan ensimmäisen pääkysymyksen ratkaisuun. Kuten toisen apukysymyksen kohdalla, myös kokonaiset avioniikka- ja sähköjärjestelmät rajoittavat erilaisten laitteiden liittämistä osaksi järjestelmää. Siksi onkin merkittävää kyetä rajaamaan tutkittavia laitteita, mikäli koneeseen halutaan joitakin tiettyjä ominaisuuksia painottava kokonaisjärjestelmä tai joitakin tiettyjä ominaisuuksia mittarivarustukselta.

3.3 Markkinaselvityksen rajaus

Selvitys rajataan koskemaan ainoastaan harrasteluokan lentokoneisiin soveltuvia järjestelmiä. Monella valmistajalla on mittaristoja ja järjestelmiä sekä tyyppihyväksytyä ilmailua varten että myös tyyppihyväksymätöntä ilmailua varten. Mikäli selvityksessä otettaisiin huomioon myös tyyppihyväksytyyn ilmailuun soveltuvat laitteet, jouduttaisiin säädöspohjaa ja vertailtavien laitteiden ja järjestelmien määrää laajentamaan huomattavasti, mikä ei palvelisi työn lopputuloksia.

Selvityksestä rajataan ulkopuolelle myös varsinaiset yksittäisten laitteiden vertailut taulukollisesti. Rajaus tehdään siksi, ettei työn sisältö laajene liian suureksi. Toisaalta työn sisältö myös palvelee paremmin laajempaa lukijakuntaa, kun varsinaisen työn toimeksiantajan alkuperäistä toimeksiantoa lavennettiin koskemaan yleistä markkinaselvitystä, eikä työn tuloksena ole tarvetta yksilöidä tiettyyn koneeseen valittavia yksittäisiä laitteita.

Lisäksi selvityksessä rajataan mahdollisia tutkittavia laitteistoja ja laitteistovalmistajia sen mukaisesti, miten potentiaalisiksi vaihtoehtoiksi valmistajat ja yksittäiset laitteet koetaan. Selvityksen ulkopuolelle jätetään myös yksittäisten mekaanisten mittarien tilalle suunnitellut elektroniset mittarit, selvitykseen hyväksytään mittaristoista siis ainoastaan isoja EFIS-näyttölaitteita. Selvityksessä ei käsitellä erillisiä moottorinvalvontajärjestelmiä vaan näyttöjärjestelmät, joita työssä käsitellään, on sellaisia kokonaisuuksia, mihin järjestelmän osana myös moottorinvalvontalaitteiston saa yhdistettyä.

3.4 Markkinaselvityksen toteutus

Selvitys toteutettiin erilaisten kokonaisjärjestelmien ja yksittäisten laitteiden osalta pääasiallisesti kirjallisuustutkimuksena. Selvityksessä tutustuttiin laitteistojen ohjekirjallisuuteen ja erilaisiin laitevalmistajien oppaisiin. Ohjekirjallisuuden tueksi työssä tutustuttiin myös erilaisiin näkemyksiin laitteistotarpeista esimerkiksi haastattelujen ja verkkojulkaisujen kautta, minkä jälkeen tutkittiin jälleen, soveltuuko kyseinen laite haluttuihin parametreihin.

Subjektiiivisen näkemyksen välttämiseksi työssä käytettiin ohjaavina tekijöinä työn tilanneen yrityksen näkemysten lisäksi luotettaviksi arvioitujen henkilöiden

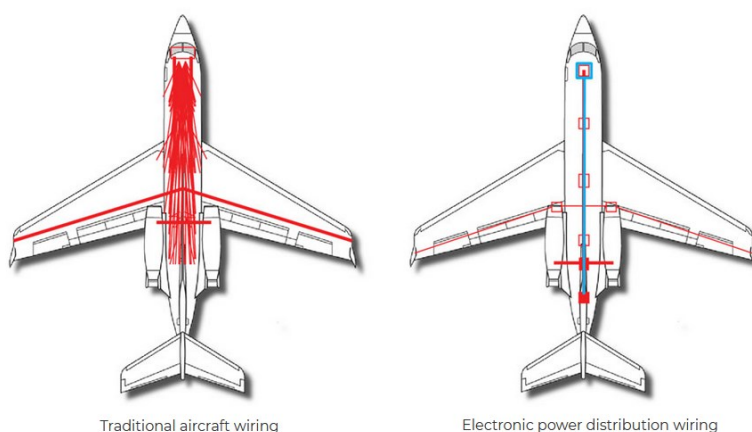
haastatteluja. Järjestelmien kanssa paljon työskennellyiltä ja toimineilta henkilöiltä sai arvokkaita ajatuksia, joita oli mahdollista hyödyntää, kun työssä arvioitiin esimerkiksi, onko jokin laite järkevää ottaa syvällisemmin tutkittavaksi.

Myös erilaisia keskustelufoorumeita käytettiin aktiivisesti suuntaa antavina näkemysten luojina. Keskustelufoorumeiden tarkoituksena työssä oli tuottaa selvitykselle sellaista pohjanäkemystä, mitä valmistajien julkaisema kirjallisuus ei suoraan ilmaissut, tai mikä oli vaikeasti ohjekirjallisuudesta löydettävissä tai tulkittavissa. Myös erilaisia yritysten taustoihin ja siten laitteiston mahdolliseen luotettavuuteen ja tulevaisuuden näkymiin mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä pyrittiin etsimään keskustelufoorumien kautta.

4 MARKKINASELVITYKSEN TULOKSET

4.1. Sähkö- ja avioniikkajärjestelmät

Työn tässä osiossa luodaan katsaus erilaisten nykyaikaisten sähköjärjestelmien markkinoihin. Moderneilla sähköjärjestelmillä saadaan aikaiseksi perinteiseen elektromekaaniseen tai sulakkeilla toteutettuun johdonsuojaukseen nähden turvallisempi sähköverkostosuojaus solid-state-tyyppisillä elektronisilla ratkaisuilla. Työssä esitellyillä ratkaisuilla on mahdollisuus muun muassa vähentää lentokoneen ohjaamosta perinteisten lämpölaukaisimien tai sulakkeiden vaatimaa tilaa, sekä pienentää merkittävästi sähköverkoston johdotusten tarvetta (kuva 4). Verkon suojauksen lisäksi elektroniset suojakytkimet mahdollistavat yksittäisten virtapiirien helpomman virrankulutuksen seurannan ja tarkemman suojarajan asetuksen helposti todellisen kuorman mukaisesti.



KUVA 4. Perinteisen sähköverkoston vertaus moderniin verkostoon nähden. (Astronics Corporation 2023a)

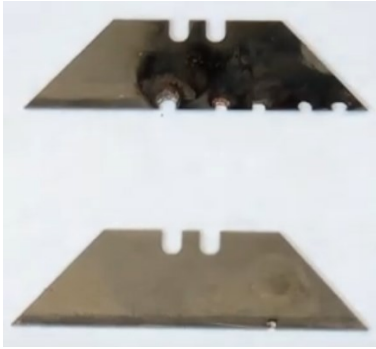
Erään tutkimuksen mukaan painon säästö keskimääräisessä liikennelentokoneessa voisi olla noin 15–25 %:n luokkaa käytettäessä keskitettyä solid-state-tyyppistä verkostosuojausta, verrattuna perinteiseen sulakkeilla tai lämpölaukaisimilla toteutettuun suojaukseen nähden (Alves & Frederick & Murray & Petrella & Valko 2014, 28). Painosäästöä tällaisessa järjestelmässä kertyy johdotuksen vähentymisen lisäksi esimerkiksi lämpölaukaisinpaneelien ja kytkentäreleiden poistumisella. Tässä työssä ei oteta kantaa erilaisten solid-state-tyyppien välillä.

Erilaisia solid-state-tyyppejä on verrattu sekä keskenään että perinteisiin elektromekaanisiin lämpölaukaisimiin nähden muun muassa raportissa Solid-State Secondary Power Distribution (Alves & ym. 2014).

4.1.1 Sähköjärjestelmän elektroninen suojaus

Solid-state-tyyppinen elektronin verkoston suojaus on kokonaisuudessaan merkittävä turvallisuuden parantaja lämpölaukaisimiin tai sulakkeisiin verrattuna. Elektronisella suojauksella saadaan huomattavasti tarkempi ja nopeampi virtapiirin katkaisu aikaiseksi. Harrasteluokan koneisiin ei vielä juurikaan jäljempänä esiteltävien VP-X:n ja ACM:n lisäksi muita solid-state-tyyppisiä kokonaisratkaisuja ole tarjolla, mutta tämä on erittäin hyvä ja merkittävä tulevaisuuden näkymä.

Amatek PDS valmistaa SPDU-laitteita, mitkä on suunniteltu nimenomaan suoja-
katkaisinyksiköiksi. Valmistajan laitteet on suunniteltu tyyppihyväksytyihin lentokoneisiin ja siten hintaluokkakin on merkittävästi harrasteluokan koneisiin soveltuvia järjestelmiä hinnakkaampia. Yrityksen havaintomateriaali antaa kuitenkin hyvän kuvan siitä, miksi solid-state-tyyppinen suojaus on merkittävä uudistus perinteiseen lämpölaukaisin- tai sulaketeknologiaan verrattuna. Kuva 5 on kuva-
kaappaus YouTube-videolta, missä Amatek PDS vertailee perinteisen lämpölaukaisijan ja solid-state-tyyppisen suojakatkaisijan laukeamisen rajoja. Kuvan terät on kytketty maapotentiaaliin ja terällä vaurioitetaan kahta eri johdinta, joita kuormitetaan keskenään samanlaisella kuormalla. Suojausraja on molemmissa asetettu 10 A:iin. Kuvan ylemmällä terällä on vaurioitettu lämpölaukaisijalla suojattua johdinta ja alemmalla terällä SPDU-laitteella suojattua johdinta. Perinteisellä lämpölaukaisijalla suojattu johdin aiheutti kuvan ylempään terään merkittävät vauriot ja salli 5 peräkkäistä kertakosketusta johtimeen ennen lämpölaukaisijan laukeamista. Kuvan alempaan terään ei ensimmäisellä kosketuksella ehtinyt tulla läheskään yhtä merkittäviä vaurioita, kun SPDU-laitteen elektronin suojaus jo katkaisi virtapiiriin. Solid-state-tyyppisellä suojauksella on siis merkittävät etunsa, mitä kannattaa järjestelmäsuojauksia suunnitellessa tarkkaan harkita. (Amatek PDS 2021.)

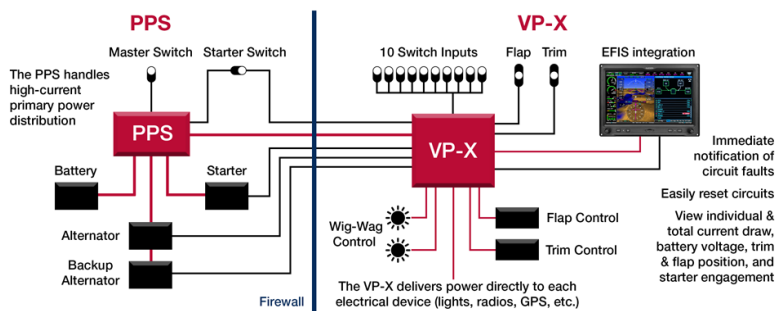


KUVA 5. Lämpölaukaisijan ja solid-state-tyyppisen suojauksen eroavaisuuden havainnollistaminen. (Amatek PDS 2018)

Kokonaisten sähkö- ja avioniikkajärjestelmien lisäksi perinteisten lämpölaukaisimien tai sulakkeiden tilalle on tarjolla myös suoraan yksittäisiä solid-state-suojakatkaisijoita ja -releitä. Yksittäiset katkaisijat ja releet soveltuvat varsinkin vanhan järjestelmän edulliseen uudistamiseen, mutta soveltuvat tietenkin kokonaan uuteenkin järjestelmään. Yksittäisissä katkaisijoissa ja releissä on tietenkin samat lainalaisuudet kuin perinteisissä sähköjärjestelmissä, eli esimerkiksi johdotuksien määrään tai mittaripaneelin tarvittavaan kokoon näillä ei voi vaikuttaa, mikäli sijainti koneessa pysyy samassa pisteessä kuin aiemmat lämpölaukaisijat tai sulakkeet.

4.1.2 Vertical Power

Perinteiseksi mielletylle sähköjärjestelmälle on nykyisen elektroniikan myötä vaihtoehtona kokonaisen sähköjärjestelmän mahdollistavia kokonaisuuksia, kuten Astronics konsernin valmistama Vertical Power kokonaisuus (kuva 6). Kokonaisuudesta on mahdollisuus valita eritasoisia paketteja, omien tarpeidensa mukaisesti.



KUVA 6. Vertical Power sähköjärjestelmän havainnekuva. (Astronics Corporation 2023b)

4.1.2.1. PPS, Primary Power System

Vertical Power:n PPS on suunniteltu lentokoneen pääsähköjärjestelmäksi, jolla on tarkoitus korvata perinteisessä sähköjärjestelmässä esimerkiksi käynnistimen ja akkujen vaatimat kontaktorit. PPS:llä ohjataan samalla myös generaattorien tuottoa kulutuslaitteille ja akkujen lataukseen. PPS ei kuitenkaan korvaa jännitteensäädintä, mikäli generaattori ulkoista jännitteensäädintä vaatii. Mikäli PPS:n kytkee ainoana uutena komponenttina vanhaan sähköjärjestelmään, järjestelmään ei akkujen ja käynnistimen kontaktoreiden poistamisen lisäksi tarvitse tehdä juuri muita muutoksia. (Astronics Corporation 2022.)

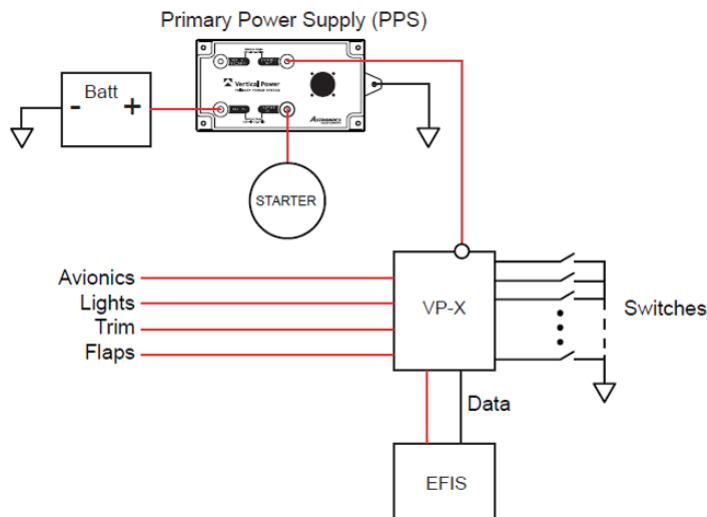
PPS soveltuu käytettäväksi sekä 14 että 28 voltin sähköjärjestelmissä. Mikäli sähköntuottojärjestelmä on tuplattu siten, että järjestelmässä on kaksi generaattoria, jotka syöttävät sähköä omiin järjestelmiinsä, omille virtakiskoilleen, ja mikäli molempien tuotto ja ohjaus halutaan toteuttaa PPS:llä, tarvitaan molemmille järjestelmille oma PPS-laitteensa. Mikäli taas kaksi generaattoria on suunniteltu kytkettäväksi syöttämään samoja sähkökiskoja toisen toimiessa varajärjestelmänä, voidaan generaattorit kytkeä samaan PPS-järjestelmään. Tällöin toinen generaattori kytketään ensisijaiseksi ja toinen toissijaiseksi. (Astronics Corporation 2022.)

Ennen järjestelmän valintaa omaan koneeseen, tulee koneen muista järjestelmistä huomioida muun muassa generaattorin/generaattoreiden tyypit. PPS:n asennusopas lupaa, että suurin osa generaattorityypeistä soveltuu PPS:n ohjaimaksi, mutta esimerkiksi joitakin jännitteensäädintyyppisiä PPS ei tue. Myös lentokoneen voimalaite saattaa olla sellaista tyyppiä, mitä PPS ei suoraan tue. (Astronics Corporation 2022.)

PPS:ssä on sisäisesti toteutettu ylivirtasuojaus käynnistimelle, sekä päävirtakiskolle lähtevässä että akulta ja generaattorilta tulevissa virtapiireissä. Laitteessa ei ole fyysisiä sulakkeita tai lämpölaukaisimia, vaan suojaus on toteutettu puoli-johdetekniikalla. PPS yksinään ei kuitenkaan korvaa minkään kulutuslaitteiden suojakatkaisijoita, vaan suojakatkaisinjärjestelmä, esimerkiksi perinteisesti lento-

konekäytössä olevat lämpölaukaisimet tai jäljempänä esitelty VP-X, tulee suunnitella järjestelmään normaalin sähköjärjestelmän tapaan. (Astronics Corporation 2022, 5.)

PPS:n ja VP-X:n asennus- ja käyttöoppaissa on yleisluontoisesti esitetty erilaisia kytkentävaihtoehtoja siitä, miten PPS ja VP-X voidaan kytkeä lentokoneen sähköjärjestelmän osaksi (kuva 7). Nämä havainnekuvat eivät kuitenkaan korvaa sähköjärjestelmän varsinaista kytkentäkaaviota, vaan toimivat ainoastaan suuntaa antavina järjestelmäkuvauksina. Vertical Power tarjoaa nettisivuillaan myös suunnittelupalvelua, jonka avulla on mahdollista suunnitella käytännössä koko sähköjärjestelmä samalla kertaa. Suunnitelmasta saa myös sähkökaaviot toimittujen laitteiden mukana. (Astronics Corporation 2023b.)



KUVA 7. Havainnekuva PPS:n ja VP-X:n kytkentäkaaviosta. (Astronics Corporation 2022)

4.1.2.2. VP-X

VP-X on suunniteltu elektroniseksi suojakatkaisinyksiköksi sulakkeiden tai lämpölaukaisimien tilalle. Perinteisen lämpölaukaisijan tavoin katkaisin suojaa sähköjohtinta ylivirran aiheuttamalta liialliselta kuormitukselta, mutta sen lisäksi VP-X:n virtapiirin suojakatkaisin laukeaa myös oikosulun, avoimen virtapiirin tai juutuneen kytkimen tapauksissa. VP-X toimii myös eräänlaisena keskusyksikkönä tai yhdyskäytävänä lentokoneen avioniikalle. Kuten PPS myös VP-X voidaan asentaa koneeseen täysin itsenäiseksi laitteeksi tai PPS:n kanssa yhdessä. VP-

X Pro soveltuu käytettäväksi 14 ja 28 voltin sähköjärjestelmissä, VP-X Sport ainoastaan 14 voltin sähköjärjestelmässä. (Astronics Corporation 2023c.)

Kantavana ajatuksena VP-X:ssä on koota kulutuslaitteiden kuten valojen, mittaristojen ja muiden navigointilaitteistojen ohjaus ja seuranta yhteen järjestelmään. Kun laitteet ja järjestelmät on kytketty kulkemaan VP-X:n kautta, niitä voidaan ohjata ja toimintaa seurata suoraan yhdeltä näytöltä. Myös tarkka, käytönaikainen virrankulutuksen seuranta ja vikadiagnostiikka on etuja, joilla Astronics konserni tuottaa markkinoi. Lisäksi VP-X:ää hyödyntäessä markkinoidaan laitteiden johdotuksen tarpeen pienevän merkittävästi, kun perinteiset kiskojärjestelmät voidaan jättää kokonaan pois ja reitittää johdot suoraan VP-X:ltä kulutuslaitteille. Myös perinteisen lämpölaukaisinpaneelin pois jättäminen säästää painon ja johdotusten lisäksi ohjaamosta rutkasti paneelitilaa muille laitteille. Vertical Power tarjoaa laitteistoilleen myös valmiita johtopaketteja, mutta laitteet saa tilattua myös ilman johtosarjoja. (Astronics Corporation 2023c.)

Käyttölaitteiden ohjaus VP-X:n kautta tarkoittaa käytännössä sitä, että ohjaamossa olevat kulutuslaitteiden fyysiset kytkimet johdotetaan VP-X:ään, missä kytkentä tapahtuu elektronisesti. Ohjaamon mittaripaneeliin sijoitettavat fyysiset kytkimet siis toimivat käytännössä ainoastaan järjestelmän kauko-ohjaajina, kytkien ainoastaan maapotentiaalin kyseiselle virtapiirin ohjaukselle, eivätkä siten perinteisen järjestelmän tapaan suoraan ohjaa minkään laitteen tai sen ohjausreleen kytkentää. Kulutuslaitteen virta ei siis kulje laitteen ohjauskytkimen kautta, vaan kytkentä tapahtuu suoraan VP-X:n sisällä. Tämä tuottaa lisämahdollisuuden ohjata samaisia järjestelmien kytkentöjä myös suoraan EFIS-näyttölaitteen kautta. Mikäli fyysinen kytkin siis rikkoutuu, saman toiminnon voi edelleen kytkeä näyttölaitteen kautta. Käyttölaitteiden ohjauksen määrän VP-X rajoittaa kymmeneen ohjauskytkimeen. Mikäli ohjattavia laitteita on useampia, loppujen ohjaus toteutetaan perinteisen kytkinohjauksen mukaisesti, esimerkiksi kytkemällä kytkin ja kulutuslaite sarjaan. (Astronics Corporation 2023c.)

VP-X on suunniteltu toimimaan myös lentokoneen sähköjärjestelmän suojakatkaisinyksikkönä. VP-X Pron ja Sportin välillä on joitakin eroja ja suurimmat erot näkyvätkin suojakatkaisijoiden määrässä. Kun Pro versiossa suojakatkaisijoita on 31 kappaletta, on niitä Sport versiossa 23 kappaletta. Joitakin muitakin eroja

Pro ja Sport versioiden välillä on, kuten esimerkiksi laitteiden sisäisten prosessorien ja laitteen sisäisesti ohjattavien virtakiskoja muistuttavien järjestelmien määrä. (Astronics Corporation 2023b.)

Oletuksena suojakatkaisijat on ohjelmoitu toimimaan maksimiarvoillaan, mutta ohjelmoimalla katkaisimen arvo uudestaan, voidaan sille asettaa pienempikin laukeamisarvo. Mikäli suojakatkaisijoiden määrä ei suunniteltavaan järjestelmään riitä, voidaan järjestelmään lisätä VP-X:n ulkopuolinen suojakatkaisinjakaaja, mitä syötetään VP-X:n yhden suojakatkaisijan kautta. Suojakatkaisimien lisäksi VP-X:ssä on sisäänrakennetut yli- ja alijännitteiden suojaustoiminnot. VP-X:ää ei kuitenkaan ole suunniteltu suurien virtojen käsittelijäksi. Tämän vuoksi suuret kuluttajat, kuten sähköiset hydraulipumput ja laskutelijärjestelmät on VP-X:ää käytettäessä reititettävä perinteisen sähköjärjestelmän tapaan. Kuitenkin tällaistenkin järjestelmien ohjaustoimet ja järjestelmän seuranta voidaan hoitaa VP-X:illä. (Astronics Corporation 2023c.)

Mikäli järjestelmään integroidaan lentokoneen voimalaitteen elektroninen sytytysjärjestelmä, tulee sytytysjärjestelmälle luoda myös varajärjestelmä. Mikäli nimittäin VP-X:stä jostakin syystä häviää sähkö, se ei myöskään syötä siihen kytkettyjä laitteita. Myös muille lentokoneen kriittisille sähkölaitteille tulee järjestää varajärjestelmät VP-X:n häiriöiden varalle, koska VP-X katkaisee sähkönsyötön myös itsenäisesti kaikilta kulutuslaitteiltaan esimerkiksi aina silloin, kun voimalaitteen käynnistintä käytetään. (Astronics Corporation 2023c.)

Järjestelmäintegraatio Vertical Powerin tuotteilla toteutettuna on pelkkää sähköjärjestelmää ja kytkinlogiikkaa suurempi kokonaisuus. Järjestelmään voidaan kytkeä käytännössä kaikki koneen avioniikka, niin että erillisiä laitteiden kytkinpaneeleita ei välttämättä tarvita EFIS-näyttölaitteiden lisäksi ollenkaan. Muun muassa radiot, transponderi ja autopilotti on kytkettävissä osaksi kokonaisuutta siten, että niiden ohjaus voidaan toteuttaa tapahtuvaksi ainoastaan EFIS-näyttölaitteen kautta. Järjestelmä sallii kuitenkin myös ulkoisten käyttölaitteiden ja kytkinpaneelien käytön, mitkä mahdollistavat eri järjestelmien seurannan ja käytön myös suoraan kyseisen järjestelmän näyttö-/käyttölaitteelta. (Astronics Corporation 2023c.)

Järjestelmäintegraation syvyys riippuu enimmäkseen yhdistettävän laitteen valmistajasta. Vertical Power luettelee verkkosivuillaan suoraan muun muassa useamman valmistajan EFIS-laitteet, joiden integrointi onnistuu järjestelmään suoraan (Astronics Corporation 2023b). Muiden kuin listattujen valmistajien tuotteiden kanssa yritys pyytää asioimaan asiakaspalvelun kanssa. Mikäli järjestelmäintegraatiota haluaa hyödyntää kaikkiin kulutuslaitteisiin, kannattaa yrityksen suunnitteluosaston kanssa käydä tuetut valmistajat läpi ennen hankintoja. Kaikki järjestelmään yhdistettävät laitteet tulee ennen käyttöönottoa konfiguroida osaksi järjestelmää, käyttäen Vertical Powerin tarjoamaa ohjelmistoa.

4.1.3 AFS, Advanced Flight Systems

Advanced Flight Systemsin Advanced Control Module (ACM) perustuu monelta ajatukseltaan samanlaisiin toimintoihin kuin VP-X. ACM sisältää ohjelmoitavat elektroniset johdonsuojakatkaisijat, Electronic Circuit Breaker (ECB), ja kulutuslaitteiden ohjaus tapahtuu VP-X:n tavoin ACM:n sisällä. Aiemmassa ACM:n mallissa suojakatkaisijoina toimivat fyysiset sulakkeet, mutta tämä malli on poistunut hiljattain myynnistä (Anglisano 2022c). Joissakin ilmailualan verkkokaupoissa sulakkeellistakin mallia on kuitenkin työn valmistuessa ollut vielä myynnissä. Myös AFS:n verkkosivusto mainitsee sulakkeellisen version olevan vaihtoehto ottamatta kantaa siihen, onko malli edelleen tuotannossa. Eroavaisuutena VP-X:ään kulutuslaitteiden ohjauksen suhteen on siinä, että ACM:ssä kulutuslaitteen mahdollinen ohjaus suoraan EFIS-näyttölaitteelta on riippuvainen siitä, mikä näyttölaitte järjestelmään on kytketty. Kaikilta EFIS-laitteilta etäkäyttö ei siis ole mahdollista. PPS:n kaltaista koneen pääsähköjärjestelmän ohjausta ACM itsessään tai siihen liittyvä tuoteperhe ei sisällä. (Dynon Avionics, n.d.)

Yhtenä suurimmista eroista ACM:n konfiguroinnissa VP-X:ään verrattuna on väyläteknologian suurempi hyödyntäminen. Väyläteknologian käyttö hyödyttää erityisesti käyttöönottovaiheessa huomattavasti nopeampana järjestelmän käyttöönottona. Myös uusien laitteiden integrointi valmiiseen järjestelmään onnistuu väylän avulla käytännössä plug and play -tyyppisesti. Perusasetukset, kuten moottorin tyyppin valinta ja polttoainetankkien lukumäärät ja tilavuudet, molemmissa laitteissa joudutaan joka tapauksessa tekemään ennen järjestelmän käyt-

töönottoa. Konfigurointi itsessään poikkeaa myös hieman VP-X:stä, missä konfigurointi tehdään tietokoneella erillisellä konfigurointiohjelmalla. ACM:ssä tarvittavat konfiguroinnit voidaan suorittaa suoraan järjestelmään kytketyn EFIS-näyttölaitteen kautta. Ennen asennusta ACM:stä täytyy kuitenkin valita fyysisillä kytkimillä väylän peruskäyttölogiikka sen mukaisesti, mikä näyttölaite järjestelmään kytketään. VP-X:stä poiketen, ACM toimitetaan pääsääntöisesti aina valmiiksi konfiguroituna kokonaisuutena siten, ettei loppukäyttäjän toimiksi jää välttämättä mitään muuta kuin laitteiden fyysinen asennus lentokoneeseen. (Dynon Avionics n.d.)

Advanced Flight Systems pyrkii palveluinaan myymään pääasiassa jotakin muuta kuin yksittäistä avioniikkakomponenttia, ACM:ää. AFS on luonut ACM:n ympärille rakentuvan kokonaisuuden, missä pakettiin pääsääntöisesti aina kuuluu ACM:n ja kulutuslaitteiden ja kytkimien välille tulevat johdotukset. AFS ei siis myy yksittäistä ACM-laitetta erikseen, vaan ainoastaan kokonaista järjestelmää (Anglisano 2022c).

AFS:n kokonaisjärjestelmään on liitetty myös ohjaamon mittaripaneeli sisältäen käyttökytkimet ja valittavat EFIS-näytöt, eli käytännössä paketin saa suoraan koneeseen asennettavaksi valmiilla johdotuksilla, tarvittavat konfiguroinnit tehtynä. Kokonaisen järjestelmän voi kuitenkin tilata ilman ohjaamon mittaripaneelia, muuten sisältäen kaiken, mitä paneelinkin sisältävä kokonaisuus sisältää. Lisäksi Vertical Powerin tavoin AFS tarjoaa myymälleen järjestelmälle suunnittelupalvelua, eli kokonaispalvelun tilaavan asiakkaan ei tarvitse olla valmiiksi laitteistojen asiantuntija hankintahetkellä. (Dynon Avionics 2021.)

Suurena erona Vertical Powerin tuotteisiin nähden, ACM:ään voi yhdistää ainoastaan Advanced Flight Systemsin ja Dynonin valmistamia EFIS-näyttölaitteita (Dynon Avionics 2021.), vaikkakin asennusohjeessa on myös yksittäisen Garminin EFIS-näyttölaitteen konfigurointiohjeet (Dynon Avionics, n.d., 61). VP-X:ään taas on liitettävissä useiden eri valmistajien EFIS-näyttölaitteita, joista suoraan Vertical Powerin verkkosivuilla mainitaan kuusi valmistajaa. Sivustolla myös annetaan ymmärtää, että sivustolla mainitsemattomienkin valmistajien näyttöpaneeleita on mahdollista järjestelmään liittää kehottamalla ottamaan asiakaspalveluun yhteyttä. (Astronics Corporation 2023b.)

4.1.4 MGL Avionics

MGL Avionics on rakentanut vuodesta 2001 lähtien EFIS-näyttölaitteita pyrkimyksenään tarjota kuluttajille edullisia laitteita. Vertical Powerin tai Advanced Flight Systemsin kaltaista kokonaista avioniikkajärjestelmää MGL ei ole rakentanut, mutta iBox pyrkii hyvin lähelle samaa. iBox toimii kuitenkin ennemminkin hubina, mistä pääasiassa väylätietona kulkeva data jakautuu näyttö- ja käyttölaitteisiin. Kuitenkin liittämällä iBox MGL:n iEFIS-järjestelmään, saadaan aikaiseksi lähes samankaltainen keskitetty avioniikkajärjestelmä kuin VP-X tai ACM. (MGL Avionics 2012.)

iBox ei sisällä itsessään johdonsuojakatkaisijoita, kuten VP-X tai ACM. MGL:llä on kuitenkin erillisenä tuotteena saatavilla ECB-moduuli. ECB-moduuli soveltuu 14 ja 28 voltin sähköjärjestelmille, vaikkakin laitteen asennusohjeessa puhutaan akun nimellisjännitteen mukaisesti 12 tai 24 voltista. MGL:n ECB-moduulin voi liittää sähköjärjestelmään yksittäisenä laitteena suojakatkaisinyksiköksi, mutta mikäli se liitetään MGL:n EFIS-näyttöön, sitä voidaan ohjata myös EFIS-laitteen kautta, kuten VP-X:ää ja ACM:ää. (MGL Avionics n.d.b.)

MGL:n ECB:ssä yksittäisen suojakatkaisimen maksimikuormitus on 10A, mutta yhdistämällä yksittäisiä katkaisimia saadaan tarvittaessa suurempiakin kuormituksia. Edellä mainittuihin verrokkeihin nähden MGL:n ECB-moduulin 8 suojakatkaisijaa on kuitenkin melko vaatimaton määrä ja vaatiikin monessa nykyisessä sähköjärjestelmässä rinnalleen useamman yksittäisen moduulin tai suojakatkaisinjakajan ECB-laitteen perään. Yksittäistä suojakatkaisijaa voidaan ohjata EFIS-laitteen kautta, mutta poiketen edellä esitellyistä laitteista MGL:n ECB:hen voi kytkeä myös fyysisen kytkimen, millä suojakatkaisijan virtapiiriin voi avata. MGL tarjoaa kytkimeksi myös valmista tuotetta, missä kytkimen kanssa samaan tuotteeseen on liitetty myös suojakatkaisijan asentoa osoittava LED-valo (kuva 8). (MGL Avionics n.d.b.)



KUVA 8. Suojatkaisijan käyttökytkin. (MGL Avionics n.d.b)

Yhtenä mielenkiintoisena tuotteena MGL tarjoaa sähköjärjestelmään erillisenä laitteena galvaanista erotinta. AvioGuard on tarkoitettu sähkönsyöttäjäksi avioniikkalaitteistoille ja erottamaan suora kontakti lentokoneen muusta sähköjärjestelmästä. Järjestelmän on tarkoitus estää lentokoneen sähköjärjestelmän epävakaisuuden aiheuttamien yli- ja alijännitepiikkien aiheuttamat ongelmat herkille avioniikkajärjestelmille. Laitteen syntyhistoria ei työn tekijälle selvinnyt, ja vaikka laitteen olemassaolo onkin järkevä tasaisen jännitetuoton takaajana, laitteen olemassaolo herätti kysymyksen MGL:n tuotteiden sisäisestä häiriönsuojauksen tasosta muihin valmistajiin verraten. Mikään muu tutkituista valmistajista ei vastaavaa laitetta ole lanseerannut, eivätkä ne asennusoppaissaan ota myöskään vastaaviin asioihin mitään kantaa. MGL:n verkkosivuston omalla keskustelufoorumilla eräässä keskusteluketjussa laitteen sanotaan vedetyksi markkinoilta, ilmeisesti osittain epävakaisen toimintansa vuoksi. Opinnäytetyön tiedonkeruuvaiheessa kyseinen laite oli vielä mainittuna MGL:n verkkosivuilla, mutta raporttia valmistellessa laitetta ei enää sivustolla listata. Joissakin ilmailun verkkokaupoissa tuotetta on kuitenkin edelleen myynnissä. (MGL Avionics n.d.a.)

Yksi merkittävä miinus MGL:n tuotteissa kautta linjan vaikuttaa olevan merkittävästi vähemmän selkeät verkkosivustot ja erityisesti laitteiden asennusoppaat. Verraten edellä mainittuihin valmistajiin, MGL:n tuotteiden asennusoppaita ei kaikilta osin edes uskoisi lentokonelaitteen asennusoppaaksi. Näkemys ei koske kaikkia valmistajan oppaita, mutta selvästikään valmistaja ei ole ainakaan markkinointimielessä kokenut tarpeelliseksi panostaa kautta linjan selkeään viestintään ja ohjeistukseen. Vaikka valmistajan laitteita asentaneet ovatkin keskustelufoorumien perusteella keskimäärin melko tyytyväisiä itse laitteisiin, erilaisten manuaalien heikko laatuvaikutelma oli käyttäjienkin toimesta useammassa kyseisen valmistajan tarjoaman keskustelufoorumien keskusteluketjussa huomioitu. (MGL Avionics n.d.d.)

4.1.5 Garmin

Garminin G3X järjestelmä sijoittuu kokonaisen avioniikkajärjestelmän ja näyttölaitteiden välimaastoon. G3X-kokonaisuuteen voi ensinnäkin valita kuuluvaksi yhdestä kuuteen kosketusnäytöllistä EFIS-näyttölaitetta. Laitteet voivat toimia yksittäisinä näyttölaitteina, mutta väyläteknologialla yhdistettynä laitteet toimivat käytännössä myös yhtenä järjestelmänä. Avioniikkajärjestelmässä ei ole varsinaista keskusyksikköä tai hubia, vaan väylän voi rakentaa suoraan järjestelmän eri moduulien välille. (Garmin Ltd. 2023b.)

G3X:n väylään on mahdollista yhdistää käytännössä kaikki se, mitä kehittynyt avioniikkajärjestelmä sisältää, kuten esimerkiksi ADAHRS:n, magnetometrin ja yhteydenpitojärjestelmät. Se mikä tekee G3X:stä hieman enemmän kuin pelkän näyttöjärjestelmän on CAD 27 Controller, jolla saadaan järjestelmään liitetyksi esimerkiksi laskusiivekkeiden ja autopilotin ohjainmoduulit. (Garmin Ltd. 2023b.)

Kun kaikki erilliset moduulit on yhdistetty väylän avulla yhdeksi kokonaisuudeksi, voidaan puhua avioniikkajärjestelmästä. Minkäänlaisia suojakatkaisintoimintoja Garminin järjestelmä ei kuitenkaan tarjoa. Järjestelmäkokonaisuuden voi kasata yksittäisistä moduuleista tai valita jonkin valmiiksi suositellun paketin. Mikäli valitsee valmiin paketin, siihen voi aina liittää lisämoduuleita tarpeen niin vaatiessa. Garminin järjestelmässä hyvää on myös se, että järjestelmään voi liittää myös muun kuin Garminin valmistamia antureita, kuten polttoainejärjestelmän anturit ja pitot-putken, kunhan ne täyttävät asennusohjeessa määritellyt standardit. (Garmin Ltd. 2023b.)

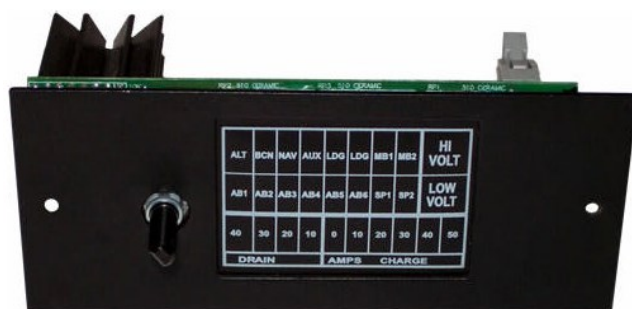
4.1.6 Approach Fast Stack

Fast Stack Pro Hub ja Pro-X Hub edustavat enemmän avioniikan reititintä kuin suoranaista avioniikkajärjestelmää. Fast Stackin Hubeja kannattaa kuitenkin vertailla MGL:n iBoxin kanssa, koska molemmat edustavat samankaltaista järjestelmää. Hubin ajatuksena on kerätä iBoxin tapaan avioniikkakomponenttien vaativat keskinäiset kontaktit yhteen pisteeseen, minkä kautta laitteistot jakavat tar-

vitsemansa tiedon. Hubin käytöllä pyritään vähentämään avioniikkajärjestelmässä yksittäisten laitteiden välille tarvittavien johdotusten määrää. Kun yksittäisiltä laitteilta tieto kulkee hubille, tarvittava tieto jakautuu hubin välityksellä muille tietoa tarvitseville laitteille. Hub itsessään ei toimi aktiivisena laitteena osana mitään järjestelmää, siksi sitä ei voi suoraan laskea avioniikkajärjestelmäksi, vaan ainoastaan yksittäiseksi osaksi järjestelmää. Fast Stack tarjoaa hubin lisäksi myös keskitettyjä, valmiita johdotuksia, mitkä hubin kanssa yhdessä käytettynä selkeyttää ja yksinkertaistaa mittareiden tarvitsemää johdotuksen moninaisuutta. (Approach Fast Stack 2005.)

4.1.7 Control Vision Corporation

Control Visionin EXP BUS Load Center -suojakatkaisinyksikkö on hieman erilainen kokonaisuus, mitä yksittäiset elektroniset suojakatkaisijat tai aiemmin esitellyt ECB-laitteet edustavat. EXP Busin suojakatkaisijat on toteutettu PTC vastuksilla, mitkä katkaistessaan virtapiirin ylikuormituksen vuoksi, kuittaantuvat jälleen itseksseen toimintaan muutaman sekunnin kuluttua siitä, kun kaikki virtapiirin kulutus on poistettu ja vastus itsessään on jäähtynyt tarpeeksi. EXP BUS mahdollistaa maksimissaan 16 suojakatkaisijan ohjauksen. Suojakatkaisinpaneeliin on mahdollista sisällyttää myös varoitusvalopaneeli, missä on jokaiselle suojakatkaisijalle oma indikaattorivalonsa (kuva 9). Yksittäiset katkaisijat eivät ole mitenkään ohjelmoitavissa, eikä suoraan virtapiirin katkaisuarvokaan ole muutettavissa, ellei piirin PTC-vastusta itsessään vaihda toiseen. Yksittäisen virtapiirin seuraaminen on mahdollista ainoastaan samalla tavoin kuin perinteisessä suojakatkaisinjärjestelmässä. (Control Vision Corporation 2010.)



KUVA 9. EXP BUS varoitusvalopaneeli. (Control Vision Corporation 2010)

4.2. EFIS-näyttölaitteet

EFIS-näyttölaitteita on tällä hetkellä markkinoilla valtava määrä ja valmistajia on todella paljon, joten niiden keskinäinen vertailu on hankalaa, osittain jopa toiminnallisuuksien ja liitettävyyksien eroavaisuuksien takia mahdotonta. EFIS-näyttölaitteiden keskinäisestä vertailusta erityisen vaikean tekee se, että osa laitteista on suunniteltu osaksi kokonaisuutta, missä EFIS-laite toimii ainoastaan näyttölaitteena ja näytön esittämä data ja toiminnot tuotetaan erillisillä moduuleilla kuten ADAHRS ja autopilot. Toiset laitteet taas on tarkoitettu itsenäisiksi laitteiksi, missä esitetty data tuotetaan itse EFIS-laitteessa itsessään ilman ulkopuolisia moduuleita ja ohjattavat käyttölaitteet sekä anturit kytketään suoraan näyttölaitteeseen. Suoranaisen vertailun hankaluuden takia tässä työssä ei tehdä EFIS-näyttölaitteiden osalta samankaltaista valmistajaan pohjautuvaa jakoa kuin sähköjärjestelmien osalta, vaan EFIS-näyttölaitteiden osalta esitellään ainoastaan erilaisten ominaisuuksien kautta laitteiden tuottamia mahdollisuuksia.

4.2.1 Kosketusnäyttö

Nykyisin käytössä olevat kosketusnäyttöihin perustuvat mobiililaitteet perustuvat pääsääntöisesti kapasitiiviseen kosketusnäyttöön, minkä toiminta perustuu sähköjohtavuuteen. Myös kosketusnäyttöllisistä EFIS-näyttölaitteista suurin osa perustuu kapasitiiviseen kosketusnäyttöön. Monia valintoja voi EFIS-näyttölaitteilta tehdä suoraan näytöltä valitsemalla, mikä mobiililaitteita käyttämään tottuneille on varsin luonnikas tapa tehdä valintoja tai esimerkiksi säätää radion taajuutta. Myös näytölle valittavia reitti- tai lähestymiskarttoja on helppo suurentaa tai pienentää kosketusnäytön avulla.

Kapasitiivisessa näytössä on kuitenkin ongelmansa. Ongelmia näytön kanssa voi syntyä esimerkiksi talviolosuhteissa lentäessä, varsinkin kun liikkeelle lähdetään kylmällä koneella. Kylmissä olosuhteissa toimittaessa joudutaan usein käyttämään hansikkaita, joiden sähköjohtavuus poikkeaa ihmisen sormesta. Tällöin tulisi valintaa tehdessä vähintään huomioida näyttölaitteen todellinen toiminta kosketusnäyttösormikkaita käytettäessä. Myös turbulenttinen keli saattaa aiheuttaa tahattomia valintoja kosketusnäytöltä.

Kosketusnäytöllisissä EFIS-laitteissa on kuitenkin poikkeuksiakin. MGL on omissa iEFIS-näyttölaitteissaan päätenyt valtavirrasta poiketen käyttämään resistiivisiä näyttöjä. Resisttiivisen näytön toiminta perustuu sähkönjohtavuuden sijasta paineeseen. Koska resisttiivisen näytön toiminta ei perustu sähkönjohtavuuteen, iEFIS-näyttölaitteita voi käytännössä pyyhkiä sormella miten vaan tuottamatta tahattomia valintoja näytöltä. MGL perusteleeekin resisttiivisen näytön valintaa nimenomaan kapasitiivisen näytön heikkouksilla lentotoimintaympäristössä. MGL markkinoi iEFIS näyttöjään sillä, että niitä voi käyttää millaisilla sormikkailla tahansa. Toiseksi suureksi eduksi näytöissään MGL listaa turbulentsissa kelissä tapahtuvan näytön käyttämisen, koska näytön pyyhkäisy ei tuota tahattomia valintoja näytöltä. (MGL Avionics n.d.c.)

Yleisesti resisttiivistä näyttöä ei juurikaan enää suosita kosketusnäytöissä, koska sen käytön tarkkuus kapasitiiviseen näyttöön verrattuna on verrattain epätarkka. Lisäksi näytön tarkkuus, eli resoluutio ei pääse aivan samalle tasolle kuin kapasitiivisessa näyttössä, vaikkakin MGL:n omissa oppaissa mainitaan iEFIS-näytön olevan kirkas ja tarkka. MGL mainitsee oppaassaan, että sen näytöissä on polarisoidut kalvot näytön lasin pinnassa, mikä auttaa näkemään sisältöä myös kirkkaassa auringonpaisteessa (MGL Avionics n.d.c). Yhtenä heikkoutena resisttiivisessä näyttössä on käytännössä kaikkien pyyhkäisy- ja monisormitoiminnallisuuksien toimimattomuus, toisin sanoen, esimerkiksi kartan siirtäminen tai kartan koon muuttaminen ei onnistu totutulla kahden sormen yhtäaikaisella liikuttamisella. (Iwill Technology 2021.)

On kuitenkin varsin perusteltua myös todeta, että turbulentsissa kelissä tai sormikkaita käytettäessä MGL:n iEFIS-näyttölaitteille on hyviä käyttökohteita olemassa. Lisäksi MGL:n näytöllä lähes kaikki kohteet ovat interaktiivisia, mikä mahdollistaa nopean siirtymisen haluttuun valikkoon. Mikäli näytöllä on paljon aktiivisesti valittavia kohteita, resisttiivisellä näytöllä varustetusta kuvaruudusta oikea kohde saattaa olla varmemmin valittavissa kuin kapasitiiviselta, koska tahattoman valinnan riski pienenee näytön toimintaperiaatteen vuoksi. (MGL Avionics n.d.c.)

4.2.2 Näytön koko

Kuvaruutunäytön koko vaikuttaa moneen asiaan. Ensinnäkin näytön koko vaikuttaa siihen mitä ja miten asioita voidaan näytöllä esittää, mutta tietenkin myös siihen miten suuren tilan laite vaatii koneen mittaritaulusta. Monessa staattisesti paikallaan pysyväksi asennettavassa näytössä on kuvaruudun reunoilla kaistaleet kehystä, mikä ottaa hyödynnettävästä alasta usein jopa merkittävän osan. Pelkkä näytön tuumakoko ei siis suoraan kerro vaadittavasta tilasta. Koon lisäksi täytyy tietää ja tunnistaa miten päin näyttöä voi käyttää ja siten tunnistaa, miten päin laitteen voi asentaa. Valtaosa näytöistä on suunniteltu asennettavaksi vaakatasoon, mutta on myös niitä, missä suunnitteluperusteena on käytetty pystyssä olevaa laitetta (kuva 10) ja joitakin, mitkä voi asentaa sekä vaakaan että pystyyn.



KUVA 10. Aspen Avionicsin kolme Evolution 2500 MAX EFIS-näyttöä. (Aspen Avionics, Inc. n.d.)

Nykymittapuun mukaan 7” näyttö on yksittäisenä näyttönä melko pieni varsinkin, jos sen asentaa vaaka-asentoon ja varsinkin silloin, jos sitä suunnitellaan käytettäväksi jaettuna näyttönä, josta puhutaan seuraavassa luvussa. Mikäli 7” näytön asentaa pystyasentoon, voi mittaritauluun kuitenkin mahtua vierekkäin useampi näyttö. Rinnakkaisten 7” näyttöjen mahdollisuuksia kannattaa vertailla esimerkiksi yksittäisen 10” tai 12” näytön vaatimaan tilaan. Fyysisesti tilan tarve ei välttämättä juurikaan muutu, mutta kahdesta erillisestä näytöstä voi saada huomattavasti enemmän hyötyä irti, kuin yksittäisestä isommasta näytöstä.

Mikäli vierekkäin asennetaan esimerkiksi kaksi 7” Garminin GDU 470:n näyttöä pystyasentoon, ne vaativat yhteensä leveydeltään tilaa hieman yli 30 senttimetriä ja ovat korkeudeltaan noin 20 senttimetriä (Garmin Ltd. 2023b.). Jos taas asennetaan esimerkiksi Dynon Avionicsin 10” näyttölaite vaakasuuntaan, vaatii se leveysuunnassa noin 26 senttimetriä ja pystysuunnassa noin 18 senttimetriä (Dynon Avionics 2016). Näin laitteiden eroksi korkeudessa muodostuu noin pari senttimetriä ja leveysuunnassa noin 4 senttimetriä, mutta näyttöala kasvaa 4”. On siis varsin merkittävä seikka pohtia erikokoisten näyttöjen keskinäisiä mitta-suhteita ja sitä, miten päin erikokoisia näyttöjä kannattaa ja voi asentaa. Pelkän näytön koon lisäksi kahden erillisen näytön tuomia varmuushyötyjä ja näytön erilaisia jakomahdollisuuksia kannattaa huomioida erilaisissa ratkaisuissa. Toisaalta usein kahden erillisen pienemmän laitteen hinta taas on suurempi kuin yhden isomman.

Näyttöjen kokoa ja tarvetta pohtiessa on hyvä pitää mielenavoina myös erilaisille vaihtoehdoille yhdistelmille (kuva 11). Niin uuteen kuin erityisesti vanhan mittariston uudistamiseen sopii erityisesti pienet, noin 5” EFIS-näyttölaitteet. Pienemmät näytöt soveltuvat hyvin myös isojen kuvaruutujen rinnalle, esimerkiksi varajärjestelmäksi. Varajärjestelmänä ne toimivat hyvin erityisesti silloin, kun niissä on sisäänrakennettu akkuvarmennus. Tällöin erityiseen varavirran suunnitteluun mittariston suhteen ei tarvitse välttämättä panostaa niin paljon. Pelkän varajärjestelmän lisäksi pienemmät näytöt soveltuvat hyvin myös moottorinvalvontatietojen esittämiseen.



KUVA 11. Eri kokoisten näyttöjen havainnollistaminen koneen mittaripaneelissa. (Guardian Avionics 2023)

4.2.3 Kustomointi ja näytön jako

Useat EFIS-näytöt ovat jaettavissa erilaisiin osioihin siten, että esimerkiksi puolet näytöstä esittää lentoarvoja ja toinen puoli esittää karttanäyttöä tai moottorinvalvontatietoja. Ominaisuus on erityisen hyvä isossa näytössä, mikä saattaa mahdollistaa koko tarvittavan mittariston rakentamisen yhdellä näyttölaitteella. Kaikki näyttölaitteet eivät kuitenkaan mahdollista kuin jonkin tietyn mittariston esitystavan, eivätkä välttämättä mahdollista näytön jakamista osiin. Mikäli valittavan laitteen näytönjakamisen tavat eivät ole suunniteltuun käyttöön soveltuvia, kannattaa tutustua myös laitteiden välilehtiominaisuuksiin. Kaikkia valintoja tai mittareita ei välttämättä koko lennon ajan tarvita näytöllä, joten sellaiset valikot ja näytöt voi tarvittaessa olla sijoitettuna myös nopeasti valittavalle toiselle välilehdelle.

Myös siihen kannattaa kiinnittää huomiota laitteiden välillä, miten näytön jakaminen osiin tai toisen välilehden valitseminen tapahtuu käytännössä. On mahdollista, että näytön jakaminen osiin tapahtuu ainoastaan näyttöä konfiguroidessa erillisellä konfigurointisivulla, mikä saattaa tarkoittaa muokkaamista näytöllä esitettävien sisältöjen välillä ainoastaan maatoiminnan aikana. Toinen ääripää taas on asetusten vaihtaminen nopeasti yhtä nappia tai kuvaketta painamalla, kuten esimerkiksi Garminin G3X -laitteissa (kuva 12). Kuvan 12 laitteessa on ruudun vasemmassa yläkulmassa kuvake, mitä painamalla ruudun saa jaettua osiin tai toisaalta otettua yhdellä napautuksella myös kokoruuduntila käyttöön. (Garmin Ltd. 2023a.)



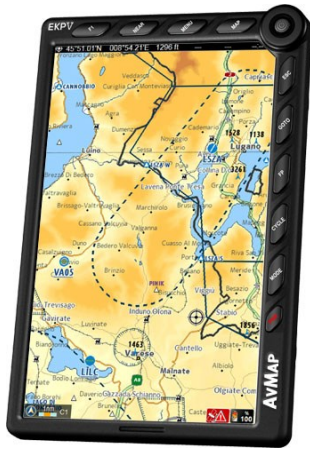
KUVA 12. Split Mode - GDU 470. (Garmin Ltd. 2023a)

Se miten mittaristot, lennonvalvontatiedot ja vaikkapa moottorinvalvontatiedot näytöllä esitetään, riippuu valmistajasta ja laitteesta. Toiset laitteista on lukittu tiettyyn moodiin, missä näytöllä esitetään ainoastaan valmistajan määrittelemät parametrit. Osa näytöistä taas on sellaisia, missä valinnan voi tehdä erilaisten esiasetettujen näyttöjen välillä, mutta missä ei kuitenkaan ole itsenäisesti valittavissa, mitä esiasetuilla näyttömoodeilla näytetään.

Jotkut näytöistä on käytännössä täysin kustomoitavissa omien tarpeidensa mukaisesti. Tästä hyvä esimerkki on MGL Avionicsin iEFIS-järjestelmä, missä näytettävän datan voi täysin vapaasti valita. Uusimmissa MGL:n näyttöpaneelissa täysin vapaan kustomoinnin lisäksi on tarjolla myös useita erilaisia valmiita esitystapoja, joten MGL:n laitteet voi halutessaan ottaa käyttöön myös plug and play tyyppisesti. (MGL Avionics n.d.c)

4.2.4 Näppäimet

Monessa EFIS-näyttölaitteessa on näytöltä tapahtuvaan laitteiston ohjaukseen liittyviä näppäimiä tai pyöritettäviä valintanuppeja (kuva 13) riippumatta siitä, onko näyttö itsessään kosketusnäyttö vai ei. EFIS-näyttölaitteeseen integroiduilla näppäimillä on helppo valita jokin tietty, monesti toistettava valinta. Näppäinten takana olevat suorat komennot ohjaavat usein nopeimmin haluttuun valikkoon tai välilehdelle, kuten moottorinvalvontavälilehdelle tai karttanäytölle. EFIS-näyttölaitteilla, joissa on kosketusnäyttö, voidaan usein tehdä sama valinta myös suoraan näytöltä. Esimerkiksi turbulenttisessa kelissä tai nopeasti kehittyvässä tilanteessa voi kuitenkin olla helpompaa ja hallitumpaa valita oikopolku suoraan haluttuun valikkoon EFIS-näyttölaitteen näppäimillä.



KUVA 13. AvMapin 7” näyttö, missä on integroituna sivuilla näppäimet. (AvMap s.r.l. a socio unico 2003)

Mikäli EFIS valinta kohdistuisi sellaisiin näyttöihin, missä itsessään ei näppäimiä olisikaan, on eri valmistajilla myös tähän erilaisia vaihtoehtoja tarjolla. Erilaisia näppäinpaneeleita on useilla valmistajilla tarjolla esimerkiksi autopilotin käyttölaitteiksi (kuva 14) ja radion käyttöpaneeleiksi. Suurimman osan erillisten näppäinpaneelien toiminnoista voi yleensä kuitenkin suorittaa suoraan myös kosketusnäytöltä, vaikka erillinen näppäinpaneeli järjestelmään lisättäisiinkin. Tämän vuoksi järjestelmää suunnitellessa kannattaa huolellisesti tutustua valitsemansa laitteiston käyttölogiikkaan jo laitteiston hankivaiheessa. Ennakkotutustumisella voi välttyä käytön kannalta ylimääräisen näppäinpaneelin hankinnalta, mikäli tosiasiallisesti toiminnot kuitenkin tekisi suoraan näyttöruudulta. Moni kokonaisuin järjestelmiinkin integroitavissa oleva käyttölaite, kuten moni ilmailuradio, transponderi ja autopilotti, sisältää itsessään edelleen oman käyttöpaneelinsa, jossa on painonapit valmiina, joten kaikkiin järjestelmiin ei ulkoisia näppäinpaneeleita tarvita.



KUVA 14. Dynon Avionicsin erillinen autopilotin käyttöpaneeli. (Dynon Avionics 2021)

4.2.5 Mobiililaitteet

Ehkä yksi merkittävimmistä ja nopeimmin kehittyvistä näyttöjärjestelmien mahdollisuuksista tämän hetken markkinoilla on mobiililaitteelle, kuten tabletille tai älypuhelimeen, ladattavat mittaristot. Sovellustuottajia on monia ja useita mittaristosovelluksia saa sovelluskaupoista pienellä kertamaksulla tai jopa ilmaiseksi. Useat sovelluksista perustuvat mobiililaitteen oman liikeanturin tarjoamiin mahdollisuuksiin, mutta joitakin wifillä, bluetoothilla tai johdolla ulkoiseen yksikköön yhdistettäviäkin sovelluksia löytyy. Mobiililaitteen omiin antureihin perustuvat sovellukset toimivat korkeintaan suuntaa antavina apuvälineinä, mutta niillä ei koneen varsinaista mittaristoa voi vielä korvata, vaikkakin varajärjestelmänä joissakin tapauksissa saattavatkin riittää.

Koska pelkän mobiililaitteen omien anturien dataan ei mittaristoja voi vielä rakentaa, tarvitaan edelleen jokin ulkoinen ratkaisu, mikä tuottaa datan, mikä sitten vain esitetään mobiililaitteen näytöllä. Ulkoisia moduuleita on markkinoilla jo kohdallisen paljon. Falken Avionics on esimerkiksi luonut kokonaisen EFIS-järjestelmän, mikä pohjautuu ainoastaan tableteilla toteutettuihin näyttöihin. Tabletit ovat koneesta irrotettavissa aivan kuten mistä tahansa kuljetustelineestä. Järjestelmä on hyväksytty (Yhdysvalloissa) myös tyyppihyväksytyissä koneissa käytettäväksi, joten Falken Avionicsin järjestelmän osalta ei puhuta pelkästä harrasteilmailutasoisesta laitteistosta. Järjestelmään on mahdollista liittää käytännössä kaikki nykyaikainen avioniikka erillisillä moduuleilla, mukaan lukien moottorinvalvontajärjestelmä, mistä data siirtyy tabletilta käytettäväksi latausliittimen kautta. Falkenin tuoteperheeseen kuuluu erikoisuutena myös tabletin kiinteänä telineenä toimiva, ylimääräisellä jäähdytyspuhaltimella ja kiinteästi asennettavien EFIS-laitteiden kaltaisilla ohjaisnäppäimillä varustettu tablettiteline (kuva 15). (Falken Avionics 2022.)



KUVA 15. Falken Avionicsin tabletin kiinteä asennusteline. (Falken Avionics 2023)

Valtavirrasta poikkeava mobiililaitesovellus on Levil Aviationin valmistama BOM (Broadcasting Outer Module) (kuva 16). BOM on täysin itsenäinen moduuli, joka kiinnitetään fyysisesti esimerkiksi lentokoneen siipeen, normaalin pitot-putken ta-paan asemoituna. BOM-moduuli vaatii siis asennustelineen, joka on kiinnitettävä koneen rakenteisiin. BOM laitteena sisältää itsessään lämmitettävän pitot-putken, GPS-antennin, kohtauskulma-anturin, AHRS-moduulin, dual ADS-B IN moduulin ja magneettikompassin. Sen lisäksi, että laite on lentodatan tuottamisen kannalta täysin itsenäinen laite, joka yhdistetään mobiililaitteeseen langattomasti wifi-yhteydellä, siinä on myös sisäinen akku. Langaton tiedonsiirto ja sisäinen akku tarkoittaa täysin langatonta asennusta lentokoneen rakenteeseen. (Levil Aviation 2017.)



KUVA 16. Levil Aviationin BOM, ulkoinen mitta-anturikokonaisuus. (Levil Aviation 2023)

Se mikä tekee laitteesta erityisen mielenkiintoisen ja jotakin enemmän kuin pelkkä tablettisovellus ulkoisin moduulein, on se, että laitteessa on sisäisen akun latausta varten oma tuuliturbiini. Sen lisäksi siis että laite on täysin langattomasti liitettävissä näyttölaitteena toimivaan mobiililaitteeseen, laite myös kehittää täysin

itsenäisesti tarvitsemansa sähkövirran. BOM on siis fyysisen asennuksensa jälkeen täysin käyttövalmis laite ilman minkäänlaista sähkö- tai avioniikkajärjestelmiin kytkemistä. Rajoittavaksi tekijäksi laitteiston käytössä on kuitenkin syytä huomioida, että BOM moduulille luvataan toimintaedellytykset ainoastaan -20 °C saakka. (Levil Aviation 2017.)

Erilaiset mobiililaitteisiin perustuvat sovellutukset tuovat kokonaan uudenlaisia, helposti rakennettavia mahdollisuuksia. Guardian Avionics ei niinkään ole aiemmin profiloitunut mittarijärjestelmien valmistaja, vaan ennemminkin turvallisuuden alalle suuntautunut yritys. Yritys on markkinarakonsa etsinyt muun muassa co-päästöjen, eli häikäarvojen mittaamiseen soveltuvista laitteista. Valmistajan tuotteisiin kuuluu kuitenkin nykyään myös smartPlane-järjestelmä, mikä pohjautuu Applen mobiililaitteille ladattavaan mittaristosovellukseen.

Se mikä tekee Guardian Avionicsin järjestelmästä tutustumisen arvoisen, on järjestelmään liitettävissä oleva smartPlane 851 moduuli. Moduuli on edellä kuvattujen erillisiin moduuleihin perustuvan järjestelmän kaltainen hubiin verrattava järjestelmä, mutta poikkeaa valtavirrasta siinä, että moduuli on Yhdysvaltain ilmailuviranomaisen, FAA:n hyväksymä NORSEE -laite, mikä on co-päästöjen mitausjärjestelmän lisäksi hyväksytty viralliseksi lennontallentimeksi. Monet muutkin paneelijärjestelmät tallentavat lentodataa ja moottorinvalvontatietoja, joita on mahdollista lennon jälkeen tarkastella. Poikkeuksellisesti Guardian Avionicsin järjestelmä mahdollistaa kuitenkin myös EFIS-näyttöjärjestelmän lentodatan kopioimisen ja siirtämisen järjestelmään kytkettyyn smartMFD:llä varustettuun toiseen mobiililaitteeseen. Järjestelmään kytketty toinen mobiililaitte voidaan sijoittaa esimerkiksi peräkkäin istuttavassa koneessa takana istuvan näytöksi, jolloin sekä edessä että takana istuvalla molemmilla on sama lentodata käytettävissä. (Guardian Avionics 2023.)

5 POHDINTA JA YHTEENVETO

5.1. Yleistä

Opinnäytetyön aikana harrasteilmailun moninaiset mahdollisuudet koneen avioniikan ja sähköän ympärillä kävi hyvin selväksi. Erilaisia järjestelmiä ja kokonaisuuksia on markkinoilla tällä hetkellä niin paljon, että kaikkiin mielenkiintoisiin ja varteenotettaviin laitteisiin ja järjestelmiin ei mitenkään työn aikana pystytty tutustumaan saati, että niitä olisi mitenkään järkevästi mahdollista vertailla keskenään. Markkinoilta löytyy selvästi todella paljon potentiaalia juuri tällä hetkellä ja vaikuttaa siltä, että markkinat laajenevat entisestään valtavalla vauhdilla. Elektrooniikan kehittäminen ja valmistaminen on nykyään verrattain helppoa erilaisten kehitysohjelmien ja halventuneiden valmistuslaitteiden ansiosta, mikä tuottaa paljon hyötyä erilaisin sovelluksinsa ilmailualalle. Myös mobiililaitteisiin perustuvat järjestelmät antavat varmasti jatkossa paljon uusia mahdollisuuksia harrasteilmailuun soveltuvista sovelluksista ja laitteistoista.

Tärkein opinnäytetyön tavoite saavutettiin työn edetessä. Tehtävänannon mukaisesti tuloksina pystytään tehtävänannon antajalle esittämään markkinoiden mahdollistamia erilaisia järkeviä vaihtoehtoja, sekä harrastelentokoneen sähkö- ja avioniikkajärjestelmiksi että mittaristoiksi yksittäisistä EFIS-näyttölaitteista kokonaisuun järjestelmäkokonaisuuksiin. Työn edetessä järjestelmien mahdollisuudet aukesivat jatkuvasti pala palalta enemmän. Opinnäytetyön raporttia kirjatessa voi todeta, että markkinoilla on lähes varmasti merkittäviäkin vaihtoehtoja jäljellä, mihin tässä työssä ei viitata mitenkään. Käytännössä työn edetessä lähes päivittäin tuli verkossa vastaan asioita ja näkökantoja, joihin ei työn aikana ollut vielä paneuduttu. Työtä varten tutustuttiin tarkemmin kaikkiaan 24 eri valmistajaan ja 78 eri oppaaseen ja manuaaliin. Statistiikan ylläpito aloitettiin noin pari kuukautta työn aloituksen jälkeen, joten luku ei välttämättä sisällä täsmällisesti kaikkia valmistajia ja manuaaleja, joihin työn aikana perehdyttiin. Lyhyimmät oppaista olivat muutaman sivun mittaisia, pisin yli tuhat sivua. Laitteistojen ja manuaalien keskinäinen tasoero ja sisältöjen eroavaisuus kävikin mittavasta lähdeaineistosta var-

sin selväksi. Vaikka eri valmistajat lähtökohtaisesti kilpailevat samoista asiakkuuksista, oli jopa hämmästyttävää havaita miten merkittävästi eri tavoin kokonaismarkkinointia ja brändin kasvatusta eri valmistajat harjoittavat.

Työn edetessä kävi myös hyvin vahvasti selville, miten suuren työn yksittäisen koneen rakentaja tai modernisoija joutuu valintojaan pohtiessaan tekemään. Kuten edellä on todettu, todellisia vaihtoehtoja etsiessään on käytettävä valtavasti aikaa manuaalien ja verkkosivustojen selaamiseen, löytääkseen mielestään potentiaalisten laitteiden hyvät ja huonot puolet, sekä eroavaisuudet toisiinsa nähden. Yksittäisen henkilön tekemä päätös perustuu suurimmalta osin kuitenkin siihen faktatietoon, mitä yritys tarjoaa omilla verkkosivuillaan ja manuaaleissaan, ja mitä laitteistoista keskustellaan erilaisilla keskustelupalstoilla. Monta hyvin rakennettua ja omistajansa tyytyväiseksi tekemää kokonaisuutta on esitelty erilaisilla verkkosivustoilla. Valitettavasti kuitenkin kalliidenkin järjestelmien rakentajista löytyy useita sellaisiakin esimerkkejä, missä valinta tai kokonaisuuden rakentaminen on jollakin tapaa epäonnistunut tai jäänyt vajaasti suunnitelluksi. Kuten nykyisen elektroniikan vertailu yleisestikin, sama vertailun vaikeus pätee luonnollisesti niin EFIS-näyttöihin kuin myös kokonaisvaltaiseen avioniikka- ja sähköjärjestelmäänkin. Kun on valinnut tärkeimpiä kriteereitä, joita valinnassaan haluaa painottaa, törmää lähes väistämättä tilanteisiin, joissa jostakin ominaisuudesta on joustettava, mikäli toisesta haluaa pitää ehdottomasti kiinni.

Yksi hyvä keino tutustua laitteen käytettävyyteen ja soveltuvuuteen suunniteltuun käyttöön on käyttää laitetta itse ennen hankintaa. Vaikka ilmailupiirit ovatkin Suomessa hyvin tiiviit ja suureksi osaksi yhteen hiileen puhaltavat, nykyaikaisen laitteiston valinnoissa siitä ei kuitenkaan ole toistaiseksi kovin suurta apua. Suomessa ilmailupiirit ovat varsin pienet ja siten myös erilaisten nykyaikaisten järjestelmien asennukset ovat vielä melko vähäisiä. Markkinatkaan eivät kovin hyvin tue fyysiseen laitteeseen tutustumista, koska hyvin harvalla valmistajalla on Suomessa maahantuojaa tai virallista edustajaa saati, että maahantuojalla tai edustajalla olisi itsellään laitteita esiteltäväksi asti. Mikäli laitteisiin haluaa ennakolta tutustua, joutuu Suomessa toistaiseksi tekemään melko suuren työn löytääkseen juuri haluamansa laitteen tutustuttavakseen. Ja sittenkin usean laitteen ja jopa valmistajan kohdalla joutuu toteamaan, ettei sellaisia laitteita ole tutustuttavaksi

asti vielä asennettu. Tämän vuoksi erilaiset, varsinkin ulkomaiset keskusteluforumit ovat lähes välttämättömiä lähdeaineiston keruupaikkoja esimerkiksi vika-herkkyyden, käytettävyyden ja lopulta kokonaisen asiakaskokemuksenkin suhteen.

5.2. Lähdeaineiston luotettavuus

Työssä jouduttiin nojautumaan monen tasoiseen lähdeaineistoon, mistä toiset ovat huomattavasti luotettavampaa lähdeaineistona kuin toiset. Esimerkiksi erilaisia nettiartikkeleita käytettiin joissakin osioissa hyväksi, koska nykyaikaisista harrasteilmailun laitteista ei ole toistaiseksi juurikaan painettuja julkaisuja saatavilla. Nettiartikkeleihin ja tämän työn sisällä niihin tehtyihin viittauksiin tulee tietenkin suhtautua osittain vain mielipiteinä siinä, missä osittain henkilöhaastatteluihinkin tulee suhtautua. Verkkojulkaisuihin ja haastatteluihin pyrittiin kuitenkin suhtautumaan lähdekriittisesti siten, että nettijulkaisujen lainauksia ei työssä esitetä pelkinä totuuksina, vaan niitä on pyritty käyttämään lähinnä tiedonhankintaväylinä ja lausujansa näkemyksinä. Työtä varten valitut haastateltavat henkilöt taas pyrittiin valitsemaan siten, että heidän taustansa ja osaamisensa tukevat käsiteltävää aihetta mahdollisimman syvällisesti ja ajantasaisesti, mutta kuitenkin sitoutumattomasti mihinkään yksittäiseen valmistajaan.

Luotettava lähdeaineisto tämän tyyppisessä työssä onkin vaikea rajata. Työssä jouduttiin käyttämään paljon valmistajien omia verkkosivustoja ja manuaaleja ja oppaita. Osa valmistajienkin materiaaleista voi pitää melko luotettavana, esimerkiksi silloin kun vaikkapa käyttöohjekirjasta haetaan erilaisia laitteen toiminnallisuuksia. Osa valmistajien tuottamasta materiaalista on kuitenkin poimittu myös verkkosivustojen asiasisällöistä, joista tietenkin osa on tarkoitettu suoraan markkinointimateriaaliksi. Työssä pyrittiinkin käyttämään selvästi markkinoinniksi luokiteltavaa materiaalia mahdollisimman vähän, keräten niistä lähinnä mainitsemisen arvoisia ominaisuuksia, mille taas pyrittiin löytämään perusteet toisaalta. Kuitenkin, koska luotettavaksikin arvioitava kirjallinen lähdeaineisto osittain nojaa valmistajien omiin verkkosivuihin ja julkaisuihin, tulee työn lukijan käyttää tämänkin työn sisältöä vain oman harkintansa mukaisesti.

Kuten aiemmin työssä mainittiin, harrasteilmailulaitteet eivät vaadi ilmailuviranomaisen hyväksyntöjä siten kuin tyyppihyväksytyssä ilmailussa, joten niiden suunnittelu- ja valmistusprosessit riippuvat monesti ainoastaan valmistajasta. Yksittäisellä asiakkaalla on harvoin mahdollisuutta saada todennettua faktaa yksittäisen valmistajan käyttämistä laatustandardeista tai yksittäisen laitteen kehittämishankkeista. Osa valmistajista kertoo manuaaleissaan ja verkkosivustoillaan tarkasti ja avoimesti mitä laatustandardeja heidän tuotteensa noudattavat. Toisaalta toiset valmistajat eivät missään kohtaa materiaalissaan viittaa minkäänlaiseen käyttämäänsä standardiin. Osa valmistajista ei itseasiassa edes kirjaa, milloin jokin manuaali on tehty, tai onko sitä päivitetty valmistumisensa jälkeen kertaakaan. Tämän vuoksi jokainen järjestelmän suunnittelija joutuu tapauskohtaisesti pohtimaan, onko kyseinen laite, järjestelmä tai lähteenä käytettävä manuaali tai verkkosivusto tarpeeksi luotettava omiin kriteereihinsä nähden.

Sen jälkeen kun oma järjestelmäsuunnittelu on saatu ajatuksen tasolle asti luotua ja sen mukaisesti pohjatietoja kerätty ja manuaaleja ja valmistajien verkkosivujen sisältöä tutkittu, erilaiset keskustelufoorumit saattavat olla todella antoisia. Erilaisista keskusteluista on mahdollista saada avartavia näkemyksiä, joille voi hakea taas faktapohjaa manuaaleista. Vaikka valmistajien kesken manuaalien, oppaiden ja verkkosivustojen sisältöjen taso vaihteleeikin valtavasti, mikään keskustelupalsta tai verkkojulkaisu ei kuitenkaan korvaa manuaaleihin tutustumista ennen järjestelmän valintaa.

Opinnäytetyön sisältöosuutta varten luotiin muutamia keskustelunaloituksia erilaisille keskustelualustoille, joissa pyydettiin kertomaan kokemuksia ja vinkkejä nykyaikaisen modernin näyttölaitteen valintaprosessiin. Kaikki keskustelut sisälsivät nykyaikaisen nettifoorumikulttuurin mukaisesti käytännössä yhtä monta oikeaa ja väärää vastausta ja näkemystä, kuin oli vastaajakin. Keskusteluun osallistui paljon sellaisia henkilöitä, joilla ei ollut kokemusta kuin yhdestä tuotteesta, tai yhdestä valmistajasta, mutta useammilla oli kuitenkin vahva kanta siitä, että kyseinen tuote tai valmistaja oli joko paras tai surkein.

Monet valmistajat ovat luoneet omille verkkosivuilleen keskustelufoorumeita, millä on pyritty saamaan laitteiden käyttäjäkunta mahdollisimman lähelle valmis-

tajaa. Samalla tietenkin on helppo tarjota saman asian parissa kamppaileville sopiva alusta keskustella laitteisiin liittyvistä ongelmista tai ominaisuuksista. Tällainen toimintatapa tuo valmistajalle myös tuotteiden jatkokehitystarpeet ja ideat helposti käytettäväksi. Valmistajan oma keskustelupalsta voi toimia myös tietynlaisena markkina-alustana uusille asiakkaille, siksi onkin hyvä suhtautua valmistajan sivustoilla oleviin keskitettyihin keskustelufoorumeihin tietynlaisina markkinointikanavina, vaikka ne samalla toimisivatkin myös oikeana tiedonjakopisteinä. Lisäksi on syytä muistaa, että näiden sivustojen moderoinnista todennäköisesti vastaa valmistaja itse, joten heidän on tarvittaessa helppo suodattaa valmistajaa tai tuotteita kohtaan epäedulliset keskustelut sivustoltaan.

Ehkä hieman keskustelufoorumeita luotettavampaa tietoa laitevertailua suorittaessa voi yrittää löytää erilaisista verkkojulkaisuista. Julkaisijoiden taustat tulee tietenkin ottaa huomioon ja käsitellä näitäkin julkaisuja käytännössä mielipidekirjoituksina enemmän kuin tieteellisesti kirjoitettuina raporteina. Verkkojulkaisujen kirjoittajan taustoihin on hyvä luoda silmäys, sillä tätäkin työtä tehdessä tuli vastaan artikkeleita, missä ylistettiin tietyn valmistajan tuotteita. Ilman kirjoittajan taustoihin tutustumista artikkelit ja niissä esitellyt tuotteet vaikuttivat varsin varteenotettavilta, mutta muutamien hakusanojen jälkeen kävi ilmi, että eräs useamman artikkelin kirjoittaja oli toiminut ylistämänsä tuotteen suunnittelutiimissä. Tämän vuoksi tässäkin työssä ei ole yhtään verkkojulkaisua käytetty kuin viitteellisenä lähteenä.

Suuren vertailutyön tekemisen jälkeen ollaan tilanteessa, jossa joudutaan joka tapauksessa toteamaan, että työn tuloksena on saatu tiettyyn pisteeseen asti verrattua laitteiden tai laitteistojen yksittäisiä ominaisuuksia, mutta löydetyn tiedon perustuvan pääasiassa valmistajan omiin oppaisiin, tai pahimmassa tapauksessa ainoastaan markkinointimateriaaliin. Työn tekijänä en rohkene epäillä, että valmistajat käyttävät manuaaliensa rakentamisessa vilpillisiä tietoja myynnin edistämiseksi, mutta väistämättä tulee pohtineeksi, onko jokin yksittäinen ominaisuus tai toiminnallisuus tarkoituksellisesti siirretty jostakin valmistajan manuaalista tai valintaoppaasta toiseen, jotta se ei vertailua tekeväälle niin selvästi kävisi ilmi.

5.3. Hinta

On selvää, että hinta on yksi merkittävä tekijä, mikä ohjaa osaltaan erilaisia laitteisto- ja järjestelmävalintoja, puhutaanhan pelkän yksittäisen EFIS-näyttölaitteen hinnoissa jopa tuhansista euroista (Anglisano 2022b). Pelkän hinnan ohjaamana on kuitenkin tehtävä joitakin ratkaisuja, jotka saattavat kokonaissuunnittelua tai -käytettävyyttä heikentää oleellisesti. Hyvässä esisuunnittelussa ja etenkin tarvepohjaisessa harkinnassa tulisi kuitenkin ottaa huomioon hinnan lisäksi muun muassa ergonomia-asiat, käytettävyys ja laitteiden toimintavarmuus. Näihin viittaavat myös Roland ja Moriarty (1990, 53) mainitessaan, että järjestelmäsuunnittelun lähtökohtien tulee pyrkiä minimoimaan ihmisen suorituskykyä alentavia tekijöitä ja edistämään henkilöturvallisuutta ja terveyttä.

Hinnan ohjattaessa laitteistovalintoja on ylipäätään syytä huomioida hinnan ja laadun yhdistyminen kuten muutenkin nykypäivän elektroniikassa. Missään tapauksessa suoraan hinnan perusteella ei voida kategorioida yhtä laitetta hyväksi ja toista huonoksi. On kuitenkin otettava huomioon, että laitteen hinta ei koostu pelkästä yrityksen myyntivoitosta. Hinnanmuodostukseen vaikuttaa vahvasti myös tuotteen laatu ja tuotteen suunnittelu- ja varmennusprosessit. On tietenkin kuluttajan kannalta merkittävä houkuttelevuus valita edullinen tuote, mutta usein toisessa vaakakupissa saattaa olla laitteen käytettävyys tai luotettavuus, sekä muut käyttöä rajoittavat tekijät.

5.4. Laitevalinnat

Samalla valmistajalla saattaa olla markkinoinnin perusteella käytännössä kaksi toistaan vastaavaa laitetta, joista toinen soveltuu tyyppihyväksytyyn lentolaitteeseen ja toinen harrasteilmailuun, hintaeron ollessa tuhansia euroja. Kuluttajan on helppo ajautua markkinoinnin uhriksi ja luottaa sokeasti nimekkääseen valmistajaan, vaikka valmistajan tunnettuus saattaakin perustua aivan muihin tekijöihin, kuin harrasteilmailuun parhaiten soveltuvien laitteiden valmistamiseen.

Harrasteilmailussa käytettävien laitteiden ei aiemmin kerrotun mukaisesti ole tarve läpäistä massiivista hyväksyntäprosessia, mikä mahdollistaa myös pienempien valmistajien pääsyn markkinoille. Pienemmillä valmistajilla on usein tarve

saada nimensä markkinoille, jotta niillä olisi edellytykset kasvattaa asiakaskuntaansa. Asiakaskunnan kasvu onnistuu käytännössä ainoastaan laadukkailla ja hintalaatusuhteeltaan hyvillä tuotteilla. Laittevalintaprosessissa onkin syytä tutustua laitteiden todellisiin ominaisuuksiin, ainakin osittain sivuuttaen valmistajan nimen tuoma markkinointilisä tai sen puute.

Jotta yksittäisen laitteen tai kokonaisen avioniikkajärjestelmän elinkelpoisuus olisi jotakin muuta kuin nykyaikaisen elektroniikan kaltainen muutaman vuoden sykli, tarvitaan valmistajalta tuotetukea useiksi vuosiksi eteenpäin. Elektroniikan suhteen on todella vaikea ennustaa tämän hetken modernilta tuntuvan laitteen elinkaarta. Mikäli valintaa tehdessään laskee saavansa tämän hetken tuotteella mielestään tarpeeksi modernia tekniikkaa pitkäksi aikaa, eikä koe tarvetta jatkuvaan laitteiston päivittämiseen, on syytä nostaa yksi merkittävä tekijä esille. Kun moderni laite vaatii huoltoa tai korjausta, tapahtuu se pääsääntöisesti tai ainakin usein valmistajan tai sen määrittelemän edustajan toimesta. Mitä tapahtuu silloin, kun valmistaja ilmoittaa, ettei se tue enää jotakin aiemmin valmistamaansa tuotetta tai vaikka kokonaista tuoteperhettä?

Tuoteperheen toimintavarmuus ja valmistajan luotettavuus tai tulevaisuuden näkymät ovat yksittäiselle asiakkaalle hankalasti selvitettävissä. Tästä todella hyvä esimerkki on Vertical Power. Vertical Power mainostaa luotettavuuttaan ja avoimuuttaan verkkosivuillaan kertomalla muun muassa, että sen laitteita on asennettu lähes kahdenkymmenen vuoden ajan ja että nykyisiä järjestelmiä on toimitettu työtä kirjoitettaessa noin 3900 kappaletta. Verkkosivuilla ei, luonnollisesti, kuitenkaan oteta mitään kantaa siihen, että nykyisen tuoteperheen edeltäjien, VP-50, VP-100 ja VP-200 laitteiden valmistus lopetettiin vuonna 2013, tuoteperheen ollessa ainoastaan reilun kymmenen vuoden ikäinen. Samoihin aikoihin, aikoinaan toimintansa pienenä aloittanut Vertical Power -yritys myytiin osaksi Astronics Corporationia vuonna 2013. Yrityksen myyntihetkellä ja edelleen aiemman tuoteperheen laitteiden valmistuksen lopettamisen aikaan tuotetukea luvattiin kyseisille laitteille jatkossakin. Lisäksi laitteiston luvattiin soveltuvan täysin seuraajansa kanssa samaan järjestelmään. (Astronics Corporation 2023b.)

Joitakin vuosia myöhemmin, ilmeisimmin kesän 2015 aikana Astronics Corporation kuitenkin ilmoitti vetäytyvänsä aiemman tuoteperheen tuotetuesta, jatkaen

Vertical Powerin tuotemerkkien tukemista ainoastaan uudempien VP-X-sarjan tuotteiden osalta. Lisäksi tuolloin ilmoitettiin, että vanhan ja uuden tuoteperheen tuotteet eivät kokonaisuudessaan jatkossa tue toisiaan. Tämä tieto vaikuttaa keskustelupalstojen mukaan tulleen useille järjestelmän tuolloin hiljattain hankkineelle täysin yllättäen. Aiheen ympäriltä löytyykin sittemmin useita pitkiä ja kiukun täyttämiä keskusteluketjuja, missä osa tuntee tulleensa jopa huijatuksi järjestelmää hankkiessaan. Useat järjestelmänsä hankkineet eivät olleet saaneet rakennettua lentokonettaan vielä edes lentokuntoon, kun heille selvisi, ettei heidän silloinen moderni, tuhansia dollareita maksanut järjestelmänsä ole enää valmistajan puolesta millään tavalla tuettu järjestelmä. Valintojaan tehdessä on siis todella syytä tutustua pelkän laitteen tai järjestelmän lisäksi myös sen valmistajaan ja mahdollisuuksien mukaan myös sen tulevaisuuden näkymiin. (Van's airforce n.d..)

Monet järjestelmät ja yksittäiset laitteet on liitettävissä useisiin eri järjestelmiin. On kuitenkin niitäkin, mitkä rajoittavat liitettävyyden ainoastaan joko valmistajan omiin tuotteisiin tai valmistajan kumppaneiden tuotteisiin. Kun järjestelmiä suunnittelee omaan ratkaisuunsa sopiviksi, on otettava huomioon pelkän järjestelmän omien ominaisuuksien lisäksi monen yksittäisenkin laitteen osalta se, pystyykö sen todellisuudessa integroimaan osaksi valitsemaansa järjestelmää. Tässä voi joutua tekemään joitakin kompromisseja joidenkin liitännäislaitteiden, kuten vaikkapa radioiden tai autopilotin suhteen. Pääsääntöisesti kuitenkin kokonaisjärjestelmiä tarjoavien valmistajien kautta löytyy helpohkosti sellaiset laitteet ja laitevalmistajat, millä kaikki haluamansa järjestelmät saa integroitua osaksi kokonaisuutta.

Valmistajat eivät ota pääsääntöisesti mitään kantaa siihen, millaisia seisokkeja koneelle arvioidaan aiheutuvan modernien laitteiden vianetsinnän monimutkaisuudessa tai silloin, kun joudutaan odottamaan varaosia, usein jopa toiselta puolelta maapalloa. Kun vertaa modernia, keskitettyä järjestelmää järjestelmään, missä vaikkapa yksittäisen suojakatkaisijan voi korvata toisella, on varsin selvää, kumpi on nopeammin korjattavissa. Varsinkin kun yksittäisen suojakatkaisijan voi tarvittaessa korvata lähes millaisella väliaikaisella suojausratkaisulla tahansa. Yksittäisen järjestelmän suojauksen rikkoutuminen ei myöskään välttämättä poista käytöstä kuin kyseisen järjestelmän, mutta keskitetyssä avioniikkajärjestelmässä

tai -hubissa häiriö saattaa tarkoittaa kaiken avioniikan ja siten käytännössä koko lentokoneen halvaantumista yhdellä kertaa. On siis punnittava pelkkien kokonaisjärjestelmän tuomien hyötyjen lisäksi sitä, mitä haittoja kokonaisjärjestelmä saattaa tuoda mukanaan.

Laitevalmistajat myöntävät pääsääntöisesti noin vuoden mittaisia takuita laitteilleen. Takuuehdoissa on kuitenkin käytännössä kaikkien valmistajien toimesta todettu, että takuu koskee ainoastaan kyseisen valmistajan tuotteiden valmistusvirheitä. Valmistajat kautta linjan kieltävät kaiken vastuunsa siitä, mitä laitteistot mahdollisesti aiheuttavat muille järjestelmille. Toisin sanoen, vaikka takuunalainen laite aiheuttaisi siihen liitettäville muille laitteille toimintahäiriöitä tai vaikka hajoamisen, valmistajat pidättäytyvät täysin näiden ongelmien ja mahdollisten vaurioiden ulkopuolelle. Lisäksi rajoitetuissa takuuehdoissa pääsääntöisesti irtisanoudutaan myös kaikista henkilöihin kohdistuvista vahingoista.

5.5. Sähkö ja avioniikkajärjestelmä

Perinteisen sähköjärjestelmän kilpailijaksi pyrkivät kokonaissähköjärjestelmiä tarjoavat valmistajat tarjoavat sähköjärjestelmänsä tueksi usein myös koko sähköjärjestelmän suunnittelupalvelua, mikä kuuluu järjestelmän kanssa pääsääntöisesti samaan hintaan. Etuina sähkö- ja avioniikkokokonaisuuksilleen valmistajat mainostavat muun muassa suunnittelun ja johdotuksen, sekä itse laitteiden asennuksen nopeutta ja helppoutta, johdotuksen vähenevää painoa, toiminnallisuuksien helppoa muunneltavuutta ja sähköjärjestelmän uudenlaista seuranta-mahdollisuutta. Lisäksi aiemmin todettu turvallisuuden lisääntyminen on yksi merkittävä tekijä valintaa tehdessä. Vastapainona täytyy kuitenkin huomioida myös se seikka, että tällaiseen järjestelmään tulee rakentaa myös tarvittavat varajärjestelmät siten, että vähintään kriittiset toiminnot pystytään edelleen suorittamaan turvallisesti, vaikka kokonaisjärjestelmässä tapahtuisikin jokin odottamaton häiriö.

Kun perinteinen lämpölaukaisinpaneeliin perustuva suojakatkaisinratkaisu muutetaan keskitettyyn elektroniseen suojakatkaisinjärjestelmään, tapahtuu yksi merkittävä muutos, mihin työssä ei aiemmin ole otettu kantaa. Suuri muutos on siinä,

miten lentokoneen ohjaajalla on havaittavissa jonkin suojakatkaisijan laukeaminen. Lämpölaukaisijan lauetessa katkaisijasta pomppaa fyysisesti nähtävälle painike, jonka kaulus on pääsääntöisesti väriltään selvästi havaittavissa taustastaan. Mikäli sähköjärjestelmän seuranta tapahtuu ainoastaan EFIS-näyttöön perustuen, saako siitä samanlaisen nopean aistihavainnon kuin fyysisestä elementistä? Tämäkään ei välttämättä kaikissa tapauksissa ole ongelma, ja toisaalta nykyaikaiset järjestelmät saattavat mahdollistaa myös huomattavasti helpommin havaittavan visuaalisen merkin, kuin lauennut lämpölaukaisin. Moderni järjestelmä saattaa mahdollistaa visuaalisen herätteen lisäksi myös äänimerkin, mitä lämpölaukaisijan laukeaminen ei lähtökohtaisesti tuota. Mutta mitä tapahtuu silloin, kun kaikki visuaaliset- ja äänivaroitukset, ja myös katkaisijoiden ohjaus pohjautuvat kokonaisen avioniikkajärjestelmän näyttöruutuun, mutta näyttöruutu rikkoutuu tai sen sähkönsyöttö katkeaa?

5.6. Mittaristot

Mittaristoja on tällä hetkellä markkinoilla todella paljon erilaisia ja eritasoisia. EFIS-näyttölaitteita on saatavilla, sekä yksittäisiksi itsenäisiksi laitteiksi, jotka tuottavat itse esittämänsä datan että laitteita, jotka ovat liitettävissä ainoastaan osaksi jotakin tiettyä kokonaisuutta, ja jotka toimivat ainoastaan jonkin toisen moduulin tuottaman datan näyttölaitteina. Kuten aiemmin on todettu, mittaristot eivät myöskään rajoitu pelkästään kiinteästi asennettaviin laitteisiin, vaan markkinoilla on koko ajan kasvava määrä myös mobiililaitteisiin perustuvia sovelluksia ja niihin liitettäviä ulkoisia järjestelmäkokonaisuuksia. Mittaristojen suhteen onkin vaikea tehdä ensinnäkin valintaa sen suhteen, valitseeko kiinteän järjestelmän vai mobiililaitteisiin pohjautuvan kokonaisuuden. Toki mahdollista on sekin, että kiinteitä ja mobiililaitteeseen perustuvia järjestelmiä yhdistelee siten, että jotkin ominaisuudet valitsee esitettäväksi kiinteillä laitteistoilla ja osan liikuteltavilla laitteistoilla.

Valittavan näyttöjärjestelmän tulee joka tapauksessa pystyä esittämään lentämisen kannalta oleellisimpia tietoja siten, että niiden havainnointi on mahdollista nopeasti muuttuvassa tilanteessa. Lentäjä poimii jatkuvasti yksittäisiä tiedonmuuraja, jotka tallentuvat muistiin vain pieneksi toviksi, kuten Kuronen, Nurmi, Sorsa

ja Vapaavuori (1992, 74) mainitsevat. Erilaisia informaation paloja kerätään esimerkiksi visuaalisista ärsykkeistä, kuten maapallon horisontti, yksittäisen mittarin osoitin tai varoitusvalo, kuulon perusteella vaikkapa moottorin käyntiääni ja radio-liikenne, sekä tuntoaistiin perustuen esimerkiksi lentokoneen erilaiset äärit. Kaikkia yksittäisiä tiedonmuruja lentäjä analysoi nopeasti pitkäaikaisen muistin tietopohjaan ja tekee niiden perusteella jatkuvaa tilanneanalyysiä. Mitä nopeamasta koneesta on kyse tai mitä kriittisempi lennontila on kyseessä, sitä nopeammin yksittäisiä tietolähteitä on pystyttävä havainnoimaan (Kuronen, ym. 1992, 74). Tarvittavan tiedon tulee siis löytyä mahdollisimman nopeasti, jotta sillä on huomion arvoista merkitystä yhdistettynä muuhun sen hetkiseen tietoon.

Opinnäytetyötä varten haastateltiin Everstilutnantti EVP Mattilaa, joka toimi sotilaslentäjän urallaan muun muassa ilmavoimien pääkoelentäjä. Mattilalla on myös merkittävä kokemus siviili-ilmailusta, ollen muun muassa sekä kaksinkertainen taitolennon pohjoismaiden- että kaksinkertainen suomenmestari, lennonopettaja ja kansainvälisen taitolentokomitean delegaatti. Mattilalla on lentokokemusta yli 80:llä eri konetyypillä ja lentotunteja noin 5000 tuntia. Kuten edellä, myös Mattila korostaa haastattelussa, että tärkeät lentoarvot tulee olla helposti ja nopeasti hahmotettavissa:

Numeronäytöissä yhtenä merkittävänä tekijänä on trendin seurannan vaikeus etenkin silloin, kun koneen nopeus on suuri tai liikehdintänopeus on kova. Oleellisia lentämiseen liittyviä ja reagointia vaativia asioita (kuten nopeus ja korkeus) seurattaessa on merkittävää hahmottaa muutoksen suunta ja sen nopeus. Nopeuden ja korkeuden muutosnopeudet ovat sitä suuremmassa roolissa, mitä nopeampi kone on kyseessä. Esimerkiksi nopeuden muutoksen lisäksi on oleellista tiedostaa, mikä on nopeuden muutostrendi. Ajatellen vaikkapa nopeuden lähestyessä sakkausnopeutta, on ensiarvoisen tärkeää osata hahmottaa, miten nopeasti tilanne on kehittymässä, jotta osaa suhteuttaa tarvittavat korjaustoimet tärkeysjärjestykseen. (Mattila 2023.)

Ihmisen käsityskyvyn ja hahmotuksen erilaisia tekijöitä käsitellään enemmänkin kognitiivisen psykologian osa-alueilla. Erilaisia mittariratkaisuja vertaillen ja valitessa on kuitenkin syytä tiedostaa edellä mainitun kaltaisia perusasioita, vaikka ei yksittäisen mittarin tai mittariston rakenneratkaisuihin voisikaan vaikuttaa. Valinnan vaihtoehtoja markkinoilla kuitenkin on tällä hetkellä laajasti, joten yksittäisen valmistajan mittaristojen valitsemisen sijaan on hyvä miettiä koko havainnointavaa kokonaisuutta.

Monen EFIS-laitteella esitettävän lentodatan ja sen sijainnin voi näyttöruudulla valita lähes vapaasti. Pääsääntöisesti myös niissä, missä näytön esitystapa on lukittu esiasetettuun muotoon, on kuitenkin erilaisia perusnäkyymiä valittavissa. Esimerkiksi lentoarvot on pääsääntöisesti valmistajasta riippumatta esitetty samankaltaisella perusasetelmalla. Perusasetelma lentoarvoissa onkin varsin hyvä lähtökohta, kuten Mattilakin (haastattelu 2023) toteaa:

Kuten monet EFIS-laitteet onkin suunniteltu, tärkeimmät mittarit tulisi sijoittaa niin kutsuttuun T-linjaan suoraan lentäjän eteen näkökenttään. T-linjalla yleisesti tarkoitetaan vaak- ja pystylinjalle sijoitettuja mittareita: vaakalinjalla reunoilla nopeus- ja korkeusnäytöt, keskellä keinohorisontti, jonka joko ylä- tai alapuolella, pystylinjalla luisumittari.

Samalle pystylinjalle keinohorisontin alle yleensä sijoitetaan myös kompassisuunnanäyttö. Mikäli nopeus- ja korkeusnäytöt ovat mittaristossa muokattavissa, olisi niiden hyvä sijoittua yleisesti vallalla olevaan malliin, jossa nopeus on esitettyä vasemmalla ja korkeus oikealla.

Kuten edellä todettiin, on koneen ohjaajalle olennaista pystyä hahmottamaan nopeasti kehittyvässä tilanteessa kaikki merkitykselliset lentoarvot ja mahdolliset muut merkitykselliset asiat, kuten esimerkiksi järjestelmien toiminnasta kertovat varoitukset. Nopeaa hahmottamista saattaa merkittävästi häiritä liian pienelle näytölle rakennettu kokonaisuus, missä tiedon määrää on ennemminkin maksimoitu, kuin päätetty pitäytyä ainoastaan oleellisimmissa tekijöissä. Osa EFIS-laitteista on todella suuresti ulkoasultaan muokattavissa, mikä ei ole ainoastaan hyvä asia. Loppuun asti harkitsematon mittariston muokkaus saattaa olla myös kriittisessä tilanteessa riski. Myös Mattila (haastattelu 2023) painottaa tietotulvariskiä:

Kun pieneen näyttöön on pakattu lentämiseen liittyvät olennaiset mittarit ja sen jälkeen edelleen lisätään moottoriarvoja, karttapohjaa, radion taajuusvalintapaneelia ja niin edelleen, näytöstä saa helposti turhan sekavan. Jos siis yhdellä pienehköllä näytöllä lähtee toteuttamaan mittaristoja, olisi hyvä yrittää löytää sellainen näyttölaite, missä jaottelu ruudulla on suunniteltu valmiiksi selkeiksi omiksi osioikseen tai siten, että näytössä esitettävä sisältö on valittavissa ja mahdollisesti sijoitettavissa järkevästi.

Tässä työssä keskityttiin harrasteilmailuluokan varustukseen, ja siten IFR-lentämiseen pakollisia ja oleellisesti liittyviä instrumentteja ei työssä suoranaisesti käsitelty. Lentokoneen ohjaajalle ei kuitenkaan ole mitenkään turhaa esittää IFR-lentämisen elementtejä, vaikka lentäminen perustuisikin näköolosuhteisiin. Vaikka lentäminen todellisuudessa tuleekin näkölentosääntöjen mukaisesti tapahtua, esimerkiksi keinohorisontista ja siihen lisätystä, visuaalista maastonmuotoa esittävistä maisemista voi olla arvokasta hyötyäkin:

Tietyissä oloissa maastonmuotojen esittäminen on varmasti VFR-koneellakin lennettäessä hyvin perusteltua. Tällainen tilanne voisi olla vaikka vesilentäminen, jossa haetaan sopivaa laskeutumispaiikkaa järvelle. Jos päänäyttöön on lisätty visuaalista maastonmuotoa esittävä pohja, sen tulisi ehdottomasti olla niin hyvin suunniteltu, että se ei aiheuta muihin näytöltä luettaviin tietoihin sekavuutta. (Mattila 2023.)

Näyttöjen järkevä suunnittelu ei tule kuitenkaan keskittyä ainoastaan yhden näytön tietojen esittämistapaan. Työtä varten haastateltiin myös vuosikymmeniä avioniikka-asentajana ja sähkö- ja avioniikkakouluttajana Finnairilla toiminutta ja sittemmin useita nykyaikaisia mittaristojärjestelmiä harrasteilma-aluksiin viime vuosien aikana rakentanutta Jarmo Hakalaa. Hakalan yhtenä esimerkkinä, vähintään hieman epäonnistuneesta laiteratkaisusta oli kymmeniä tuhansia euroja maksanut EFIS-mittaristokokonaisuus. Mittaristossa itsessään ei ollut puutteita tai sen toiminnassa tai toiminnoissa ongelmia, mutta kokonaisuuden käytettävyydessä ilmeni käytönaikaisia puutteita tai heikkouksia, joita jouduttiin käytössä lopulta paikkaamaan tuulilasiin imukuppikiinnitteisesti kiinnitettävällä irtonaisella suunnistuslaitteella. (Hakala 2023.)

Koneesta helposti irrotettavaa laitetta ei tule missään tapauksessa kuitenkaan kategorisesti todeta huonoksi laitteeksi. Kuten edellä on todettu, on selvästi eri asia suunnitellusti panostaa irrotettavaan näyttöpaneeliin, kuin pakon sanelemana lisätä jälkikäteen irtolaitteita korvaamaan jo asennettujen laitteiden puutteita tai vajavaisuuksia. Lisänäyttöjä voi toki myöhemmin lisätä, sekään ei välttämättä ole suunnittelun heikkoutta, mutta suunnittelussa kannattaa erityisesti pyrkiä panostamaan siihen, että laitteisto olisi käytettävyydeltään sellainen, mitä ei joutuisi jälkikäteen sen heikkouksien takia paikkaamaan muilla ratkaisuilla.

Mittaristojen suunnittelussa tulee itse laitteistojen käytettävyyksien ja toiminnallisuuksien lisäksi huomioida myös turvallisuusnäkökohdat. Kuten Hopkins (Hopkins 2013) viittaa, saattaa lentämiseen keskittymistä oleellisesti häiritä matkapuhelimen tai muun mobiiliviestimen ilmoitukset. Mittaristoa suunnitellessa on siis syytä käyttää aikaa myös human factor -näkökulmaan. Hopkinsin artikkelissa puhutaan lähinnä mobiililaitteen aiheuttamasta häiriötekijästä, silloin kun sitä käytetään yhteydenpitovälineenä. Human factorin kannalta on kuitenkin syytä kiinnittää huomio kaikkiin EFIS-laitteisiin, on ne sitten kiinteitä järjestelmiä tai sitten mobiililaitteita, joita käytetään EFIS-laitteen lisäksi yhteydenpitovälineenä. Monimutkaisten ja moniportaisten valikkorakenteiden sisuksiin tai näytölle ponnahtaviin ilmoituksiin voi helposti käyttää useita kriittisiä sekunteja väärällä hetkellä. Niinpä yksi merkittävä tekijä onkin näyttölaitteita ja niiden käytettävyyttä ja valikkorakennetta tutkiessa selvittää, onko laite todellisuudessa lennon aikana käytettävissä siten, että lentäjä pystyy tarvittaessa nopeasti analysoimaan tarvittavista mittareista ja muista indikaatioista vallitsevan lentotilan, eikä joudu monien valintojen kautta etsimään tarvitsemaansa tietoa.

5.7. Vaihtoehtoiset laitteet

Laitteiden ohjelmistot ja itse laitteet ovat pääsääntöisesti valmistajien suojaamia ja ovat siten kokonaisuuksia. Yksittäisiä hardware valmistajia toki markkinoilta löytyy, jotka tarjoavat open source -tyyppisen mahdollisuuden jatkokehittää ohjelmistoaan. Näissä tapauksissa valmistajat luonnollisesti irtisanoutuvat laitteen tai sen sisällön toiminnasta täysin.

Globaalissa internet-maailmassa on helposti saatavilla myös yksittäisten harrastajien tuottamia, vapaaseen ohjelmointiin soveltuvia, alun perin harrastajien itselleen suunnittelemlia ohjelmistoja ja jopa kokonaisten laitteiden rakentamishojeita. Eri tasoiset harrastelijat suunnittelevat laitteensa jopa alusta loppuun itse, sisältäen ohjelmiston lisäksi myös itse fyysisen laitteen. Yksi esimerkki tällaisesta on verkkosivusto Open source software and hardware avionics, jonka ylläpitäjä tai sinne julkaisuja kirjoittava henkilö tai henkilöt eivät sivustolla esittäydy kuin etunimillä. Verkkosivustolla esitellään varsin seikkaperäisesti, miten EFIS-näyttölaitteen voi valmistaa ja ohjelmoida itse. Itse rakennettuun tai ohjelmoituun ratkaisuun sisältyy luonnollisesti aivan toisenlaiset vaara- ja vastuukysymykset, kuin

kaupallisen tuotteen valitsevalle. (Open source software and hardware avionics 2022.)

Ilmailumääräysten mukaan itse rakennetut laitteistot ja ohjelmistot ovat kuitenkin ainakin periaatteessa täysin mahdollisia ratkaisuja harrasteilmailussa: ”Mittareiden on oltava tarkoitukseen sopivat ja niihin on tehtävä valmistajan lento-ohjekirjassa tai ’Suomalaisten ultrakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirjassa’ mainittu merkinnät.” (Ultrakevyiden ilma-alusten lentokelpoisuus ja valmistus 2020, 5). Itse valmistettu mittaristo varmasti tarkastetaan ensimmäisessä käyttöönottotarkastuksessa huomattavasti tarkemmin kuin tehdasvalmisteiset laitteet. Tämän vuoksi tällaiseen ratkaisuun päätyvän tuleekin ottaa huomioon mittaristojakin koskeva määräys: ”Lentokoneen turvalliselle toiminnalle tärkeiden varusteiden on toimittava turvallisesti kaikissa todennäköisissä toimintaolosuhteissa.” (Suokas & Hiedanpää 2003, 15.)

Hieman kevyempiäkin lähestymistapoja open source -tyyppiseen ratkaisuun on, joissa ei tarvitse pyörää keksiä uudestaan täysin tyhjästä. Yksi esimerkki tällaisesta mahdollisuudesta on MGL Avionics:n Open development systems. Valmistajan verkkosivustolla on vapaasti ladattavissa aiempien ohjelmistojen kehitysversioita, joita voi vapaasti muokata omaan käyttöönsä. Ohjelmiston lisäksi sivuilta on ladattavissa myös kyseisen ohjelmiston kehittämiseen soveltuva kehitysohjelma. (MGL Avionics n.d.d.)

Itse toteutettuun ratkaisuun päätyvien olisi kuitenkin syytä tutustua järjestelmäkokonaisuuden rakentamisessa erilaisiin järjestelmäkehityksen prosesseihin. Myös ilmailun kokonaisuus tulisi huomioida puhtaasti järjestelmäsuunnittelun rinnalla koko kehitysprosessin ajan. Kornecki ja Liu (2013, 47) painottavat omassa tutkimuksessaan erilaisten ilmailun järjestelmien kokonaisvaltaista toimintavarmuutta. Kokonaisvarmuus koostuu niin järjestelmästä itsestään, kuin esimerkiksi järjestelmän käyttäjästä eli ihmisestä. Yhtenä järjestelmäturvallisuuden huomiona Kornecki ja Liu (2013, 47) listaavat erityisesti järjestelmäsuunnittelun, mikä erityisesti korostuu open source -tyyppisissä omavalmisteissa. Itse valmistettujen laitteiden suhteen tulee siis ottaa oma harrastuneisuutensa kriittisesti huomioon.

LÄHTEET

Alves, K. & Frederick, D. & Murray, D. & Petrella, J. & Valko, A. 2014. Solid-State Secondary Power Distribution. USA, New Jersey: Federal Aviation Administration. <https://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/tc13-19.pdf>

Amatek PDS. 2018. Aircraft Wire Protection: Thermal Circuit Breakers vs. Solid State Technology, verkkosivusto. Viitattu 4.10.2023. USA: Amatek Inc. <https://www.youtube.com/watch?v=SEmopALIFdY>

Amatek PDS. 2021. DC Secondary Power Distribution. USA: Amatek Inc. Viitattu 15.10.2023. <https://www.ametekpds.com/>

Anglisano, L. 2022a. Big Screen EFIS 2022 Buyer's Guide. Verkkójulkaisu. Flying Media Group. Viitattu 18.8.2023. <https://www.kitplanes.com/big-screen-efis-2022-buyers-guide/>

Anglisano, L. 2022b. Big Screen EFIS 2022 Buyer's Guide Table. Verkkójulkaisu. Flying Media Group. Viitattu 24.8.2023. <https://www.kitplanes.com/big-screen-efis-2022-buyers-guide-table/>

Anglisano, L. 2022c. Power In a Box, verkkójulkaisu. Flying Media Group. Viitattu 6.10.2023. <https://www.kitplanes.com/power-in-a-box/>

Approach Fast Stack. 2005. Fast Stack Pro Hub, Installation Manual, revisio F. USA, Minnesota: Approach Fast Stack. <https://approachfaststack.com/>

Asetus 2018/1139/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus yhteisistä siiviili-ilmailua koskevista säännöistä ja Euroopan unionin lentoturvallisuusviraston perustamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 4.7.2018. Viitattu 14.8.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R1139>

Aspen Avionics, Inc. N.d. Aspen Avionics. Verkkosivu. Viitattu 9.10.2023. <https://aspnavionics.com/>

Astronics Corporation. 2022. PPS Installation and Operating Manual, revisio F1. USA: Astronics Corporation. <https://www.verticalpower.com/index.php/help/documents>

Astronics Corporation. 2023a. Electronic Circuit Breaker Unit. Verkkosivu. Viitattu 9.10.2023. <https://www.astronics.com/advanced-electronic-systems/1448-ecbu>

Astronics Corporation. 2023b. Vertical Power. Verkkosivu. Viitattu 5.10.2023. <https://www.verticalpower.com/index.php>

Astronics Corporation. 2023c. VP-X Installation and Operating Manual, revisio G4. USA: Astronics Corporation. <https://www.verticalpower.com/index.php/help/documents>

AvMap s.r.l. a socio unico. 2003. AvMap, Satellite Navigation. Verkkosivu. Viitattu 3.10.2023. <https://www.avmap.it/corporate/it?lng=en>

Control Vision Corporation. 2010. EXP Bus DC Load Center, installation Instructions. USA, Pittsburg: Control Vision Corporation. <https://www.controlvision.com/>

CSI Oy. 2020. CSI Composite Solutions and Innovations Oy. Viitattu 2.8.2023. <https://www.csi-composites.fi/>

Dynon Avionics. N.d. Advanced Control Module Installation Manual, versio 7.5. USA, Oregon: Dynon Company. <https://www.advancedflightsystems.com/advanced-panel-support.php>

Dynon Avionics. 2016. SkyView HDX SV-HDX1100, 10 inch EFIS Panel Cut-Out. USA, Dynon Company. <https://dynonavionics.com/home.php>

Dynon Avionics. 2021. Advanced Flight Systems. Verkkosivu. Viitattu 5.10.2023. <https://www.advancedflightsystems.com/index.php>

Eskola, J. & Suoranta, J. 1998. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Tampere: Osuuskunta Vastapaino.

Falken Avionics. 2022. FlightView EFIS User Guide. USA, Texas: Falken Avionics. <https://www.falkenavionics.com/>

Falken Avionics. 2023. Falken Avionics. Verkkosivu. Viitattu 14.10.2023. <https://www.falkenavionics.com/>

Garmin Ltd. 2023a. G3X Touch™, Pilot's Guide. USA: Garmin Ltd. https://static.garmin.com/pumac/190-01115-00_q.pdf

Garmin Ltd. 2023b. G3X™/G3X Touch™, Installation Manual. USA: Garmin Ltd. https://static.garmin.com/pumac/190-01115-01_au.pdf

Guardian Avionics. 2023. Verkkosivu. Viitattu 14.10.2023. <https://www.guardianavionics.com/>

Hakala, J. 2023. JH Innovation Oy: toimitusjohtaja. Haastattelu 20.6.2023. Puheleinhaastattelu.

Harrasterakenteisten ilma-alusten rakentaminen 27.06.2022. AIR M5-2 TRAFI-COM/516747/03.04.00.00/2020. Viitattu 20.8.2023. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/498001/48358>

Harrasterakenteisten sekä tutkimus-, kokeilu- tai tieteellisiin tarkoituksiin valmistettujen ilma-alusten lentokelpoisuusvaatimukset 27.06.2022. AIR M5-1 TRAFI-COM/516719/03.04.00.00/2020. Viitattu 20.8.2023. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/498001/48357>

Hopkins, J. 2013. The Human Factor: Dangerous Distractions. Verkkojulkaisu. Viitattu 10.9.2023. <https://www.flyingmag.com/technique-proficiency-human-factor-dangerous-distractions/>

Hyvärinen, M. & Suoninen, E. & Vuori, J. N.d. Haastattelut. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 29.11.2023. <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetaelmaopetus/>.

Ilmailulaki 7.11.2014/864. Viitattu 14.8.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140864>

Iwill Technology. 2021. Difference between capacitance and resistance. Verkkojulkaisu. Viitattu 10.10.2023. <https://fi.iwillminipc.com/info/difference-between-capacitance-and-resistance-64906343.html>

Kornecki, A. J. & Liu, M. 2013. Fault Tree Analysis for Safety/Security Verification in Aviation Software. USA: Embry Riddle Aeronautical University. <https://commons.erau.edu/db-electrical-computer-engineering/6/>

Kuronen P., Nurmi L., Sorsa M., Vapaavuori E. K. 1992. Lentävä ihminen; Ilmailufysiologian ja -psykologian oppikirja. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

Kuusisto, A. 2000. Safety management systems: Audit tools and reliability of auditing. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Lentotoiminta kansallisen sääntelyn piiriin kuuluvilla ilma-aluksilla 13.12.2022. OPS M2-11. TRAFICOM/516603/03.04.00.00/2020. Viitattu 2.8.2023. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/498001/48758>

Lentäjän käsikirja. 2001. Suomen ilmailuliitto. <https://www.yumpu.com/fi/document/read/42478734/sisallysluettelo-suomen-ilmailuliitto>

Levil Aviation. 2017. BOM (Broadcasting Outer Module) Company Standards. USA, Florida: Levil Aviation. https://cdn.shopify.com/s/files/1/0859/0206/files/D-0007-BOM_Company_Standards.pdf?v=1692206408

Levil Aviation. 2023. The Most Innovative Way to Modernize Your Cockpit. Verkkosivu. Viitattu 17.9.2023. <https://shop.levil.com/>

Mattila, J. 2023. Ilmavoimien pääkoelentäjä, EVP. Haastattelu 10.7.2023. Pirkkala.

MGL Avionics. N.d.a. AvioGuard. Etelä-Afrikka: MGL Avionics. <https://www.mglavionics.co.za/Docs/AvioGuard.pdf>

MGL Avionics. N.d.b. Electronic circuit breaker module, User and installation manual. Etelä-Afrikka: MGL Avionics. <https://www.mglavionics.co.za/documents.html>

MGL Avionics. N.d.c. Introduction to the iEFIS Explorer. Etelä-Afrikka: MGL Avionics. <https://www.mglavionics.co.za/iEFISDocs.html>

MGL Avionics. N.d.d. MGL Avionics. Verkkosivu. Viitattu 10.9.2023.
<https://www.mglavionics.co.za/>

MGL Avionics. 2012. iBOX V1 Installation manual. Etelä-Afrikka: MGL Avionics.
<https://www.mglavionics.co.za/iEFISDocs.html>

Open source software and hardware avionics. 2022. Verkkosivu. Viitattu 24.8.2023. <https://avionicsduino.com/index.php/en/efis-2/>

Poikkeus 8,33 kHz:n kanavavälillä toimivien radioiden käyttöönotosta 17.02.2017. OPS M1-30. TRAFI/48864/03.04.00.00/2017. Viitattu 20.8.2023.
<https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/498001/43046>

Roland, H. E. & Moriarty B. 1990. System safety engineering and management. 2. painos. USA: John Wiley & Sons, Inc.

Suokas, A. & Hiedanpää, M. 2003. Suomalaisten ultrakevyiden lentokoneiden tarkastuskäsikirja. Muutos 1. Helsinki: Lentoturvallisuushallinto. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/10257-tarkastuskasikirja_ultra_2003.pdf

Suomen ilmailukäsikirja, GEN 1.5. Ilma-aluksen laitteet, varusteet ja asiakirjat. 2021. Fintraffic Lennonvarmistus Oy. Verkkosivu. Viitattu 5.10.2023.
https://www.ais.fi/eaip/005-2023_2023_10_05/index.html

Suomessa sovellettavat lentosäännöt 07.09.2018. OPS M1-1 TRAFI/499813/03.04.00.00/2016. Viitattu 21.8.2023. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/498001/44467>

Traficom. 2016. Lentotoimintavaatimukset, yleisilmailu. Liikenteen turvallisuusvirasto. Viitattu 3.10.2023. https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/22418-Lentotoiminnan_vaatimukset_-_Yleisilmailu.pdf

Tuorila, L. 2020. Lasiohjaamo valtaa alaa. Ilmailuliitto. Verkkojulkaisu. Viitattu 1.10.2023. <https://www.ilmailuliitto.fi/ilmailu-lehti/lasiohjaamo-valtaa-alaa/>

Ultrakevyiden ilma-alusten lentokelpoisuus ja valmistus 18.12.2020. AIR M5-10 TRAFICOM/119328/03.04.00.00/2019. Viitattu 2.8.2023.
<https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/498001/46494>

Valli, R. 2018. Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1, Metodien valinta ja aineistokeruu: virikkeitä aloittelevalle tutkijalle. Jyväskylä: PS-kustannus.

Van's airforce. N.d. VAF Forums. Verkkosivu. Viitattu 15.10.2023. <https://vansairforce.net/community/index.php>

Vuori, J. N.d. Johdatus laadulliseen tutkimukseen ja verkkokäsikirjaan. Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto. Viitattu 29.11.2023.
<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/mita-on-laadullinen-tutkimus/johdatus-laadulliseen-tutkimukseen-ja-verkkokasikirjaan/>

