



Huoltovalmiuden luonti lentokoneen toimilaitteelle

Iiro Moisio

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2022

Konetekniikka
Lentokonetekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Lentokonetekniikka

MOISIO, IIRO:
Huoltovalmiuden luonti lentokoneen toimilaitteelle

Opinnäytetyö 49 sivua, joista liitteitä 15 sivua
Maaliskuu 2022

Opinnäytetyönä luotiin uusi huoltovalmius lentokoneen toimilaitteelle Patrian Linnavuoren toimipisteelle. Työn tarkoituksena oli tukea toimeksiantajan huoltokykä sekä lentoturvallisuuden varmistamista. Taustalla oli toimeksiantajan kiireellinen tarve suunnitella uusi toimintamalli sotilasilma-aluksen toimilaitteelle, jolle ei ole aiemmin Patrialla ollut huoltokykä. Laite on osa ilma-aluksen polttoainejärjestelmää, jolle ei kuitenkaan ole alkuperäisen laitevalmistajan huolto-ohjeistuksia. Työn tavoitteeksi määriteltiin sellaisen uuden menetelmän luominen, jolla saadaan korjattua ja huollettua polttoainesäiliön venttiili ilman alkuperäisen laitevalmistajan puuttuneita ohjeistuksia. Toimintamallin toimivuus varmistettiin koetyöllä, joka suoritettiin Linnavuoren tiloissa.

Opinnäytetyössä tutkittiin huolto-organisaatiolle asetettuja sotilasilmailun viranomaisyksikön määräyksiä ja ohjeistuksia huoltotoiminnalle. Lentokoneen toimilaitteelle tehtiin selvitystyö, jossa tutustuttiin laitteen perustoimintaan sekä toimintaympäristöön. Selvitystyön alussa haastateltiin Patrian eri tahoja, jotta saatiin selvitettyä kaikki mahdolliset kyseiseen laitteeseen liittyvät tiedot puuttuvan ohjeistuksen vuoksi.

Selvitystyön jälkeen toteutettiin koetyö. Koetyössä määritettiin kaikki tarvittavat työvaiheet ja työvälineet polttoainesäiliön venttiilin huoltamista varten. Koetyöllä saatiin todennettua toimintamallin toimivuus ja työn tulosten pohjalta saatiin laadittua Patrian Linnavuoren laiteosastolle uusi sisäinen huolto-ohje sekä huoltopöytäkirja. Uusi ohjeistus lähetettiin suunnitteluorganisaatioon osien lentokelpoisuusvastaavan tarkastettavaksi ja hyväksyttäväksi. Hyväksymisen jälkeen voidaan laiteosastolla aloittaa heti varsinainen polttoainesäiliön venttiilin huoltotoiminta. Lisäksi opinnäytetyössä laadittua pohjaa on mahdollista soveltaa myös muissa, saman toimintaympäristön laitteissa sekä uusien huoltovalmiuksien luonnissa.

Patrialle laadittu sisäinen huolto-ohje sekä huoltopöytäkirja on poistettu julkisesta opinnäytetyöraportista salassa pidettävänä.

Asiasanat: huoltovalmius, toimilaite, polttoainejärjestelmä, venttiili

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Aircraft Engineering

MOISIO, IIRO:
Creating Maintenance Capability for Aircraft Equipment

Bachelor's thesis 49 pages, appendices 15 pages
March 2022

In this thesis, a new maintenance capability was created for the aircraft equipment at Patria's Linnavuori unit. The equipment is a valve which is a part of the aircraft fuel system. However, there were no maintenance and repair instructions from the original equipment manufacturer. The purpose of this work was to support the operator's maintenance capacity and to ensure the safety of aviation by designing a new operating model for a military aircraft device for which Patria had not previously had maintenance capabilities.

The thesis examined the regulations and instructions for maintenance operations set for the maintenance organisation by the military aviation authority unit. A study was carried out on the aircraft's equipment, in which the basic operation and operating environment of the equipment were studied. The functionality of the operating model was ensured by a test work carried out at Linnavuori premises.

The test work verified the functionality of the operating model. Based on the results of the work, a new internal maintenance manual and maintenance protocol were prepared for Patria's Linnavuori facility.

The internal maintenance instructions and maintenance protocol prepared for Patria have been removed from the public thesis report as they are confidential.

Key words: maintenance capability, equipment, fuel system, valve

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TOIMEKSIANTAJA	7
	2.1 Patria-konserni	7
	2.2 Engines, Components and Training Operations	8
3	HUOLTOTOIMINTA	9
	3.1 Yleisohjeet	9
	3.1.1 Huoltotiedot	10
	3.1.2 Huollon suunnittelu	11
	3.1.3 Huollon suorittaminen	11
	3.1.4 Huoltokirjanpito	12
	3.1.5 Kansalliset sotilasilmailun määräykset	13
	3.2 Huoltovalmiuden luonti	14
	3.2.1 Tuotantovalmiuskatselmuspöytäkirja (TKP)	15
	3.2.2 Ensimmäisen kappaleen tarkastus (FAI)	15
4	TOIMINTAYMPÄRISTÖ	18
	4.1 Polttoainejärjestelmän yleiskuvaus	18
	4.2 Perustoiminta sotilasilma-aluksessa	19
	4.3 Toimilaitteen selvitys	20
	4.3.1 Perustoiminta	21
	4.3.2 Lämpötilat	21
	4.3.3 Paineet	22
	4.3.4 Kemikaalit	22
	4.3.5 Sähköjärjestelmät	23
	4.3.6 Toimintahäiriöiden selvittäminen	23
5	HUOLLON JA TESTAUKSEN SUUNNITTELU	25
	5.1 Koetyö	25
	5.1.1 Huollon suunnittelu ja avaus	25
	5.1.2 Vastaanotto	25
	5.1.3 Puhdistus	26
	5.1.4 Korjaus	26
	5.1.5 Testaus	27
	5.1.6 Luovutus	29
	5.2 Huolto-ohjeen laatiminen	29
6	TULOKSET	30
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	31
	LÄHTEET	32

LIITTEET	34
Liite 1. Tuotantovalmiuskatselmuspöytäkirja.....	34
Liite 2. Huolto-ohje.....	36
Liite 3. Huoltopöytäkirja.....	43

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö aloitettiin Patria Aviation Oy:n toimeksiannosta Linnavuoren toimipisteessä lokakuussa 2021. Patrian organisaatiomuutosten myötä toimeksiantajan nimeksi muuttui Engines, Components and Training Operations alkuvuodesta 2022, kun raportin kirjoitusprosessi oli vielä kesken.

Työn taustalla oli toimeksiantajan kiireellinen tarve kehittää huoltovalmius eräälle ilma-aluksen toimilaitteelle. Kyseistä laitetta ei ole aiemmin pystytty huoltamaan Patrialla, koska sille ei ole ollut huoltokykyä, eikä alkuperäisellä laitevalmistajalla ole ollut ohjeistuksia huollon tekemiseen. Työn tarkoituksena oli luoda uusi toimintamalli, joka tukee toimeksiantajan huoltovalmiutta sekä lentoturvallisuuden varmistamista.

Opinnäytetyön tavoitteeksi asetettiin toimeksiantajan kanssa uuden toimintamallin luominen, jonka avulla voidaan suunnitella uusia huoltovalmiuksia. Työssä selvitetään vaatimukset, joiden pohjalta voidaan luoda menetelmä huoltovalmiudelle. Opinnäytetyöraportissa tutkitaan huoltotoimintaan liittyviä yleisohjeistuksia ja määräyksiä huolto-organisaatiolle ja tehdään selvitystyö yhden lentokoneen toimilaitteen perustoiminnasta sekä laitteen toimintaympäristöstä. Tässä kirjallisessa selvitystyössä toimintaympäristö rajoittuu erään sotilasilma-aluksen polttoainejärjestelmään.

Selvitystyön jälkeen suoritettiin koetyö kyseiselle sotilasilma-aluksen polttoainejärjestelmän toimilaitteelle. Testauksen avulla pystytään todentamaan uuden huoltovalmiuden toimintamallin toimivuus sekä laatimaan koetyön pohjalta Patrialle sisäinen huolto-ohje ja huoltopöytäkirja.

Opinnäytetyöprosessissa luotu uusi toimintamalli ja huolto-ohjeet tulevat heti hyväksymisen jälkeen käyttöön, koska huollettuja laitteita tarvitaan jatkuvasti puolustusvoimien lentävässä kalustossa.

2 TOIMEKSIANTAJA

2.1 Patria-konserni

Patria on kansainvälinen puolustus-, turvallisuus- ja ilmailualan luotettu elinkaarren tukipalvelujen, lentokoulutuksen ja teknologiaratkaisujen tuottaja. Patria tarjoaa kaluston käytettävyyttä ja suorituskyvyn jatkuvaa kehittämistä sekä tiedustelu-, valvonta- ja johtamisjärjestelmien tuotteita ja palveluita ilmailu- ja puolustusalan toimijoille. Patrian omistavat Suomen valtio (50,1 %) ja norjalainen Kongsberg Defence & Aerospace AS (49,9 %). Patria omistaa 50 % norjalaisesta Nammosta, ja yhdessä nämä kolme yritystä muodostavat johtavan pohjoismaisen puolustuskumppanuuden. (Vuosikertomus 2020 – katsaus 2020, 3).

Patrialla on toimipisteitä Suomen lisäksi muun muassa Belgiassa, Ruotsissa, Norjassa, Virossa ja Espanjassa. Vuonna 2020 Patrian liikevaihto oli 534,1 miljoonaa euroa ja nyt konsernissa toimii yli 3000 ammattilaista. (Vuosikertomus 2020 - katsaus 2020, 3).

Vuoden 2022 alusta uudistuivat Patria-konsernin toimintamalli ja organisaatio uuden kasvustrategian myötä. Uudessa toimintamallissa Patrian tavoitteena on hyödyntää kaikkien patrialaisten osaamista kokonaisvaltaisesti. Aikaisempi käytössä ollut liiketoimintarakenne (pl. Millog) on purettu ja tilalle on luotu uusi, joka koostuu seuraavista ydintoiminnoista:

- Finland-divisioona vastaa asiakkuuksista Suomessa erityisenä painopisteenä Puolustusvoimat. Finland koostuu neljästä liiketoiminta-alueesta: Air Force, Army, Navy ja Joint & Security.
- Global-divisioona vastaa asiakkuuksista Suomen ulkopuolella. Global koostuu Nordics, Europe- ja World-markkina-alueista.
- Portfolio vastaa tuotteista ja palveluista sekä niiden kehittämisestä ja myynnin tuesta koostuen kuudesta tuote- ja palvelulinjasta: Fleet Availability, Life cycle Management, Training & User Support, C51STAR, Mission Capability sekä New products and Services.

- Operations vastaa tuotannosta ja toimitusketjusta koostuen neljästä linjasta: Airframe & Structure Operations, Land Operations, Engine, Component & Training Operations ja Systems & Integrations Operations. (Uusi Patria 2022).

2.2 Engines, Components and Training Operations

Patrialla on osaamista tärkeimmistä kaasuturbiinimoottoreiden varusteista ja laitteista, kuten polttoaine- ja öljyjärjestelmistä, sekä Hawkin ja Hornetin ilmajärjestelmistä ja apuvoimalaitteista (Lentokoneiden kaasuturbiinimoottorit 2020).

Patria on sotilaslentokoneiden huolto-, korjaus- ja peruskorjauspalvelujen (MRO) sekä elinkaaren hallintapalvelujen (LCM) ensisijainen tuottaja Suomessa. Patria on hankkinut komponenttitason osaamisen laajalle valikoimalle moottorimalleja pääasiassa moottoreiden kokoonpanoprojektien kautta. (Lentokoneiden kaasuturbiinimoottorit 2020). Patria voi huoltaa ja testata seuraavia lentokoneiden kaasuturbiinityyppejä:

- General Electric F404 -tuoteperhe
- Rolls-Royce Turbomeca Adour
- Safran RTM322 01/9
- Honeywell GTC-36-200
- Lisäksi Patria tuottaa MRO-palveluja Microturbo TRI60 -ohjuksen kaasuturbiinimoottoriin. (Lentokoneiden kaasuturbiinimoottorit 2020).

3 HUOLTOTOIMINTA

Huoltotoimenpiteet perustuvat eri huoltofilosofioihin. Jos laitteen tai osan vikaantuminen ei vaaranna lentoturvallisuutta, sitä voidaan ylläpitää niin sanotulla ON Condition -periaatteella. Tämä tarkoittaa, että laite tai osa vaihdetaan (tai korjataan) sen vikaantuessa. Toisille laitteille tai osille on määritelty turvallinen elinikä, jolloin laite tai osa on vaihdettava ennen eliniän täyttymistä. Kolmas huoltofilosofia perustuu laitteen tai osan kunnon seurantaan (condition monitoring). Tämän periaatteen mukaisesti laite tai osa otetaan huoltoon, kun sen kunnon seurannassa käytettävät parametrit osoittavat huollon tarpeelliseksi. (Hoffren & Saarela 2019, 199).

3.1 Yleisohjeet

Sotilasilmailuviranomainen (Sotilasilmailunviranomaisyksikkö SVY) antaa kansallisia ja kansainvälisiä sotilasilmailua koskevia määräyksiä Suomessa ilmailulain 6 §:n toimivallan kautta lentoturvallisuuden varmistamiseksi. Sotilasilmailumääräyksessä SIM-To-Lt-031 sotilasilmailuviranomainen määrää sotilasilmaluksen huolto-organisaatiolle asetettavista vaatimuksista. Huolto-organisaatiolla tarkoitetaan organisaatiota, jolla on sotilasilmailuviranomaisen myöntämä hyväksyntä huoltaa ilma-aluksia ja komponentteja sekä hyväksyntään liittyvät oikeudet ja velvollisuudet.

Määräys noudattelee soveltuvin osin Euroopan puolustusviraston (EDA) Sotilasilmailuviranomaisten yhteistyöryhmän (MAWA Forum) julkaisemaa ja hyväksymää EMAR 145 -vaatimuksen tasoa 1.2.

3.1.1 Huoltotiedot

Huoltotiedot tarkoittavat sotilasilmaluviranomaisen vahvistamia vaatimuksia, menetelmiä, normeja ja lentokelpoisuusmääräyksiä, tyyppivastuuorganisaation antamia jatkuvaa lentokelpoisuutta koskevia ohjeita, hyväksytyjä huolto- ja korjausohjeita sekä huoltotiedotteita. Lisäksi huoltotietoihin kuuluvat huolto-organisaation omat menettelyohjeet sekä käsikirjat. Huolto-organisaatiolla on oltava pääsy tarvittaviin ajantasaisiin huoltotietoihin ja sen on käytettävä niitä suorittaessaan huoltoja, muutostöitä ja korjauksia. Tarvittavilla huoltotiedoilla tarkoitetaan tietoja, jotka koskevat mitä tahansa huolto-organisaation toimiluvassa ja missä tahansa siihen liittyvässä huoltovalmiusluettelossa mainittuja ilma-aluksia, osia, laitteita tai prosesseja. (SIM-To-Lt-031 2021, 22).

Huolto-organisaatio saa tehdä muutoksia huolto-ohjeisiin vain huolto-organisaation käsikirjassa määritetyn menetelmän mukaisesti. Organisaation on osoitettava, että muutetuilla ohjeilla saavutetaan sama tai aikaisempaa parempi huollon taso, ja ilmoitettava tällaisista muutoksista (sotilasilmaluun käytettävien tuotteiden) tyyppihyväksyntätodistuksen haltijalle tai (sotilasilmaluun käytettävien tuotteiden) rajoitettujen tyyppihyväksyntätodistusten haltijalle. Tämä tarkoittaa organisaatiota, jolla on tyyppihyväksytyyn ilma-alustyyppiin liittyvät oikeudet ja velvollisuudet. Tässä kohdassa huolto-ohjeilla tarkoitetaan tietyn huoltotehtävän suorittamiseksi tarvittavia ohjeita, eikä käsite sisällä korjausten tai muutostöiden suunnitteluohjeita. (SIM-To-Lt-031 2021, 24).

Huolto-organisaation on määritettävä menettely, jolla varmistetaan, että sen hallinnoimat huoltotiedot pidetään ajan tasalla. Jatkuvan lentokelpoisuuden hallintaorganisaation hallinnoimien ja toimittamien huoltotietojen osalta huolto-organisaation on pystyttävä osoittamaan, että se on saanut jatkuvan lentokelpoisuuden hallintaorganisaatiolta kirjallisen vahvistuksen siitä, että kaikki tällaiset huoltotiedot ovat ajan tasalla, tai että sillä on työtilaukset, joista ilmenee käytettävien huoltotietojen muutostilanne, tai että organisaatio pystyy osoittamaan olevansa jatkuvan lentokelpoisuuden hallintaorganisaation huoltotietojen muutosluettelossa. (SIM-To-Lt-031 2021, 25). Lentokelpoisuuden hallintaorganisaatio tarkoittaa ilmailulain mukaista organisaatiota, joka on vastuussa ilma-aluksen jatkuvasta lentokelpoisuuden ylläpidosta eli niistä prosesseista, joilla varmistetaan, että ilma-

alus täyttää voimassa olevat lentokelpoisuusvaatimukset aina koko operatiivisen elinaikansa aikana ja on turvallinen operatiiviseen toimintaan (SIM-To-Lt-034 2021, 4)

3.1.2 Huollon suunnittelu

Huolto-organisaatiolla on oltava työn määrään ja vaativuuteen sopiva järjestelmä, jolla suunnitellaan kaiken tarvittavan henkilöstön, työkalujen, laitteiden, materiaalien, huoltotietojen ja toimitilojen saatavuus niin, että huoltotyö voidaan saattaa loppuun turvallisesti. Lisäksi huoltotehtävien suunnittelussa ja työvuorojen järjestämisessä on otettava huomioon ihmisten suorituskyvyn asettamat rajoitukset. (SIM-To-Lt-031 2021, 25).

Kun huoltotehtävien jatkaminen tai loppuun saattaminen on työvuoron tai henkilöstön vaihtumisen vuoksi siirrettävä toisten henkilöiden tehtäväksi, lähtevän henkilön on ilmoitettava tarvittavat tiedot riittävän tarkasti saapuvalle henkilölle (SIM-To-Lt-031 2021, 25).

3.1.3 Huollon suorittaminen

Kaikkien huoltoja suorittavien henkilöiden on oltava kelpuutettuja ja kaikki huoltotyöt on suoritettava SIM-To-Lt-031 kohdassa 145.A.45 määritettyjen menetelmien, tekniikoiden, normien ja huoltotietojen mukaisesti. Jokaisen lentoturvallisuuteen vaikuttavan huoltotehtävän jälkeen on tehtävä erillinen tarkastus, ellei määräyksessä muuta mainita tai Sotilasilmailunviranomaisen ei ole hyväksynyt muuta menettelyä. (SIM-To-Lt-031 2021, 25).

Valtuutetut huoltotodisteiden antajat voivat päättää, neuvoteltuaan tarpeen mukaan jatkuvan lentokelpoisuuden hallintaorganisaation kanssa SIM-To-Lt-031 kohdassa tarkoitettuja huoltotietoja käyttäen, vaarantaako ilma-aluksessa todettu vika vakavasti lentoturvallisuutta. Tämän perusteella päätetään, milloin ja millainen korjaava toimenpide täytyy suorittaa ennen seuraavaa lentoa ja millainen

korjaava toimenpide voidaan siirtää myöhempään ajankohtaan. Edellä mainittuja asioita ei kuitenkaan sovelleta, kun

- käytetään hyväksytyä minimivaruusteluetteloja siten kuin Sotilasilmailun viranomaisyksikkö on valtuuttanut
- Sotilasilmailun viranomaisyksikkö tai sen valtuuttama organisaatio on määrittänyt ilma-aluksen viat hyväksyttäväksi. (SIM-To-Lt-031 2021, 26).

Lopuksi, kun koko huolto on suoritettu loppuun asti, on varmistettava, että ilma-aluksen, osan tai laitteen mihinkään kohtaan ei ole jäänyt työvälineitä, laitteita eikä mitään muita sinne kuulumattomia osia tai materiaaleja. Lisäksi tulee ottaa huomioon, että kaikki työluukut on asennettu takaisin paikoilleen. (SIM-To-Lt-031 2021, 26).

3.1.4 Huoltokirjanpito

Huolto-organisaation on kirjattava kaikki suorittamansa huoltotyön yksityiskohdat. Organisaation on säilytettävä vähintään ne tiedot, mukaan lukien kaikki huoltotodisteet, jotka tarvitaan osoittamaan, että kaikki huoltotodisteen antamista varten voimassa olevat vaatimukset on täytetty. Huoltotodiste tarkoittaa kirjallista todistusta siitä, että kaikki asiaan kuuluvat huoltotoimenpiteet on tehty soveltuvien huoltotietojen mukaisesti ja että huoltotiedoista ei ole poikettu. (SIM-To-Lt-031 2021, 28).

Huolto-organisaation on annettava jatkuvan lentokelpoisuuden hallinto-organisaatiolle jäljennös jokaisesta huoltotodisteesta sekä kaikista korjauksissa ja/tai muutostöissä käytetyistä erityisistä korjaus- ja muutostiedoista. Lisäksi huolto-organisaation on säilytettävä jäljennökset kaikesta yksityiskohtaisesta huoltokirjanpidosta ja kaikista siihen liittyvistä huoltotiedoista 3 vuoden ajan siitä päivästä, jona ilma-alus, osa tai laite, jota työ on koskenut, on luovutettu organisaatiosta. (SIM-To-Lt-031 2021, 28).

3.1.5 Kansalliset sotilasilmailun määräykset

Ilmailulain mukaan sotilasilmailuviranomainen määrää sotilasilma-aluksen lentokelpoisuuden antamisesta. Sotilasilmailuviranomainen voi valtuuttaa hyväksymänsä organisaation tekemään lentokelpoisuustarkastuksen (ensi- ja uusintatarkastuksen) ja myöntämään lentokelpoisuustodistuksen ilma-alukselle. (SIM-To-Lt-034 2021, 6)

Sotilasilmailussa ilma-aluksen lentokelpoisuustodistus on voimassa toistaiseksi, kun ilma-alus täyttää lentokelpoisuuden vaatimukset eikä sitä ole muusta syystä peruttu. Ilmailulain mukainen lentokelpoisuustarkastustodistus (airworthiness review certificate), jolla jatketaan lentokelpoisuustodistuksen voimassaoloa, ei ole käytössä sotilasilmailussa (SIM-To-Lt-034 2021, 6).

Tämä määräys koskee uuden, modifioidun tai vaativasta korjauksesta tulevan ilma-aluksen lentokelpoisuustarkastusta sekä koetoimintaan liittyvää lentokelpoisuustarkastusta ja lentokelpoisuustodistuksen antamista. Määräys ei koske huoltotoimintavaatimusten alaista tarkastustoimintaa, joka liittyy kunnossa olevan koneen lentotoimintaan, ohjekirjallisuuden mukaisesta huollosta tai korjauksesta vastaanotettavan ilma-aluksen tarkastamiseen ja huoltotodisteen antamiseen. (SIM-To-Lt-034 2021, 7).

Merkittävimmät kansalliset eroavaisuudet siviilimääräykseen Osa M ovat:

- Suomalaisella sotilasilma-aluksella on normaalisti tyyppivastuuorganisaatio, jolla on sekä tyyppihyväksynnän haltijan että lentokelpoisuuden hallintaorganisaation oikeuksia ja velvollisuuksia.
- Ilma-aluksen lentokelpoisuustodistuksen voi ilmailuviranomaisen sijasta antaa viranomaisen valtuuttama tarkastusorganisaatio.
- Lentokelpoisuustodistuksen kalenteriaikaista voimassaoloa ei ole rajoitettu eikä lentokelpoisuuden tarkastustodistus ole käytössä. (SIM-To-Lt-034 2021, 7).

3.2 Huoltovalmiuden luonti

Uusien huoltovalmiuksien ensisijaisena tarkoituksena on lentoturvallisuuden varmistaminen sekä ylläpitäminen. Tavoitteena on luoda toimintamalleja, joiden avulla pystytään korjaamaan, huoltamaan, testaamaan ja ylläpitämään ilma-aluksen erilaisia toimilaitteita ja järjestelmiä. Näistä eri toimilaitteille tehtävistä toimenpiteistä sekä muista spesifioinneista ja ohjeistuksista vastaa laitteen alkuperäinen laitevalmistaja (Original equipment manufacturer).

Alkuperäinen laitevalmistaja (OEM) on tyypillisesti määritelty yritykseksi, jonka tuotteita käytetään komponentteina toisten yritysten tuotteissa, joka sitten myy valmiin tuotteen käyttäjille. Nämä komponentit ovat esimerkiksi osajärjestelmiä tai osia, joita muut yritykset käyttävät lopputuotteen valmistamiseen. (Sunpower electronics 2019). Alkuperäinen laitevalmistaja on vastuussa vain omien tuotteidensa suunnittelusta, valmistuksesta, lopputarkastuksesta sekä pakkaamisesta.

Joidenkin laitteiden tai tuotteiden kohdalla, OEM-ohjeistus saattaa olla puutteellinen tai puuttua kokonaan, jolloin uuden toimintamallin suunnittelussa esiselvitys- ja tutkimustyön merkitykset kasvavat suuresti. Mahdollista on myös selvittää, jos jonkin toisen laitteen olemassa olevia alkuperäisohjeita voidaan käyttää tutkittavassa laitteessa. Huoltovalmiuden luonnissa voidaan tukeutua läheistä vertailutietoa sisältäviin alkuperäisohjeisiin (Kaasalainen 2022).

Tilanteessa, jossa OEM-ohjeistusta ei ole saatavilla ollenkaan, tulee aloittaa laitteen toimintaympäristön sekä perustoimintojen selvityksillä. Toimintaympäristön selvittämisessä kuuluu tutkia, onko laite osa jotakin suurempaa järjestelmää, missä laite sijaitsee ja miten se on kiinnitetty sekä miten laitteen toiminta vaikuttaa muihin järjestelmiin ja laitteisiin. Lisäksi tulee selvittää millaiset olosuhteet laitteen ympärillä vaikuttavat, kuten lämpötila-alueet, järjestelmien käyttöpaineet sekä erilaiset kemikaalit, joiden kanssa laite on vuorovaikutuksessa. Tärkeää on myös tutustua toiminnallisiin häiriöihin, jotka aiheutuvat laitteen tai järjestelmän vikaantumisesta ja miten tällaisessa tilanteessa tulee toimia. Perustoimintojen selvittämisessä tulee tutustua laitteen toiminnalliseen kuvaan sekä muihin komponentteihin, jotka vaikuttavat tutkittavan laitteen toimintaan. (Antinniemi 2022).

Esiselvitystöiden jälkeen laitteelle suoritetaan koetyö, jolla voidaan todentaa uuden huoltovalmiuden toimintamalli toimivaksi. Lisäksi koetyön pohjalta laaditaan Patrialle sisäinen huolto-ohje. Olennainen osa uuden laitteen huoltovalmiuden luontia on myös laatia tuotantovalmiuskatselmuspöytäkirja (TKP) sekä ensimmäisen kappaleen tarkastus (FAI) hyväksyntälomake. (Antinniemi 2022).

3.2.1 Tuotantovalmiuskatselmuspöytäkirja (TKP)

Huolto-organisaatio saa huoltaa hyväksyntänsä mukaisia ilma-aluksia, laitteita ja osia vain, jos sillä on käytössä kaikki huollon kannalta tarpeelliset toimitilat, varusteet, työvälineet, materiaalit, huoltotiedot ja huoltotodisteen antajat. Valmiuksien riittävyys arvioidaan ja tositetään huoltovalmiuskatselmusmenettelyllä tuotekohtaisesti ja uusi tuote viedään huoltovalmiusrekisteriin nimetyn ko. tuotantopäällikön hyväksynnän jälkeen. Valmiuksien jatkuvaa ylläpitoa valvotaan sovituin menetelmin ja uusimalla tuotantokatselmus määräajoin. (HOK-AVI 2021, 13).

Osana valmistussuunnittelua tulee suorittaa huoltotehtävien kriittisyyden arviointi. Kriittisyyden arvioinnissa syntynyt dokumentaatio taltioidaan yhdessä tuotantovalmiuskatselmuksen ja FAI-dokumentaation kanssa. Kriittisyyden arviointi voi perustua myös olemassa olevaan esimerkiksi valmistajan määrittelyyn, jos se katsotaan riittäväksi. Asiantuntijatasoinen huoltotodisteen antaja hyväksyy kriittisyyden arvioinnin. Tuotantovalmiuskatselmuksesta laaditaan lopuksi tuotantovalmiuskatselmuspöytäkirja. (HOK-AVI 2021, 26). Pöytäkirja voi olla esimerkiksi liitteen 1 mukainen.

3.2.2 Ensimmäisen kappaleen tarkastus (FAI)

FAI-tarkastus (First Article Inspection) on vaatimus ilma- ja puolustusteollisuudessa, joka tarkoittaa ensimmäisen tuotteen tai kappaleen tarkastusta. Standardin AS9102 mukaisesti suoritettavalla tarkastuksella varmistetaan, että tuotteet valmistetaan oikeiden spesifikaatioiden mukaisesti. FAI-tarkastus tehdään laitteiden tai järjestelmien ensimmäisen huollon, korjauksen, modifikaation tai valmis-

tuksen yhteydessä. Jos tarkastetut tuotteet ovat valmistettu täsmälleen vaatimusten mukaisesti, voidaan olettaa, että yritys pystyy valmistamaan vaatimusten mukaisia tuotteita (Glossop 2021).

FAI-tarkastuksen ensisijaisena tarkoituksena on vahvistaa, että tuotteen toteutusprosessit pystyvät tuottamaan osia ja kokoonpanoja, jotka täyttävät rakennetta ja suunnitteluvaatimukset. Hyvin suunniteltu ja toteutettu FAI-tarkastus tarjoaa objektiivisen tositteen siitä, että valmistajan huolto- ja korjausprosesseilla pystytään tuottamaan vaatimustenmukaisia tuotteita. Valmistajan on lisäksi täytynyt ymmärtää ja rekisteröidä niihin liittyvät vaatimukset. FAI-tarkastuksella voidaan:

- Tarjota luottamusta, että tuotteen valmistusprosessit tuottavat vaatimustenmukaisia tuotteita.
- Todistaa, että tuotteen valmistajilla ja jalostajilla on ymmärrys vaatimuksista.
- Tarjota objektiivista näyttöä prosessikyvystä.
- Vähentää tuotannon käynnistämiseen ja/tai prosessin muutokseen liittyviä riskejä.
- Varmistaa tuotteen vaatimustenmukaisuus tuotannon alussa ja tässä standardissa esitettyjen muutosten jälkeen. (AS9102B 2014).

Edellä mainittujen asioiden lisäksi FAI-tarkastusta voidaan hyödyntää myös muihin tarkoituksiin. Sen avulla voidaan:

- Vähentää tulevia virheitä, riskejä sekä kokonaiskustannuksia.
- Auttaa ylläpitämään lentoturvallisuutta.
- Parantaa laatua, toimituksia sekä asiakastyytyväisyyttä.
- Vähentää tuotteiden puutteisiin ja virheisiin liittyviä kustannuksia sekä tuotantoviiveitä.
- Tunnistaa ne tuotteen toteutusprosessit, jotka eivät kykene tuottamaan vaatimustenmukaisia tuotteita sekä käynnistää tai vahvistaa korjaavat toimenpiteet. (AS9102B 2014).

Tarkastusprosessin aikana fyysisiä ja toiminnallisia ominaisuuksia tulee verrata piirustuksiin, ostomääräykseen, spesifikaatioihin tai muihin suunnitteluasiakirjoi-

hin. Tarkastusprosessin todentaminen on dokumentoitava ja sitä kutsutaan yleisesti nimellä ensimmäisen kappaleen tarkastus raportti eli FAIR (First Article Inspection Report). Tyypillisesti tämä raportti sisältää seuraavat asiat:

- Osanumeron
- Muutostason
- Osakuvauksen
- Kaikki soveltuvat piirustusnumerot ja muutostasot
- Asiakkaan ostomääräys numeron
- FAI:n suorittavan henkilön nimen ja allekirjoituksen
- Päivämäärän
- Asiakkaan suostumuksen
- Materiaali- tai prosessikatselmus
- Toimintakokeen tulokset
- Vaatimustenmukaisuus sertifikaatti
- Todelliset mitat. (AS9100 Store 2022).

Ensimmäisen kappaleen tarkastusraportit, joissa havaitaan poikkeamia, ei voida hyväksyä suoritetuksi, vaan se hylätään. Vaatimusten vastaisia tuotteita ei toimiteta ostajalle ilman vaadittuja dokumentteja. FAI tulee pysyä hylätyssä tilassa siihen saakka, kunnes poikkeamiin liittyvät korjaavat toimenpiteet ovat suoritettu, tarkastettu sekä vaatimustenmukaiset dokumentit saatavilla. (Lockheed Martin Corporation 2019).

4 TOIMINTAYMPÄRISTÖ

4.1 Polttoainejärjestelmän yleiskuvaus

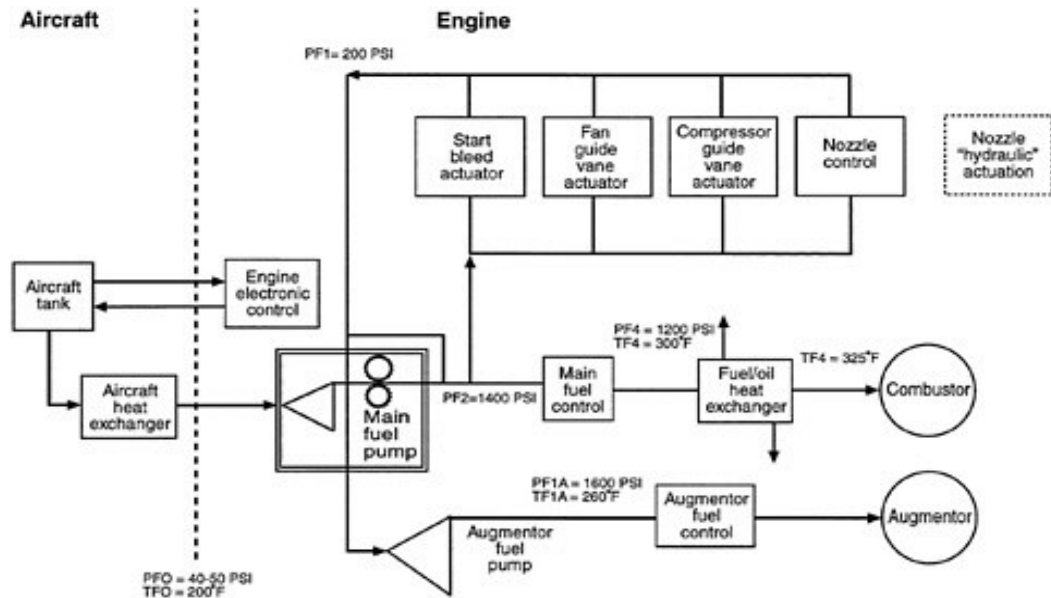
Polttoainejärjestelmät ovat yksi tärkeimmistä järjestelmistä kaikissa lentokoneissa. Niiden toteutukset ja toiminnalliset ominaisuudet ovat tärkeässä roolissa suunnittelussa, sertifiointissa ja operatiivisissa toimissa niin sotilas- kuin kaupallisissa lentokoneissa. Itse asiassa polttoainejärjestelmän suunnittelun vaikutus lentokoneen toimintakykyyn kattaa suuren joukon teknologioita, jotka ovat paljon merkittävämpiä kuin aluksi voisi luulla. (Aeronautics Guide 2017).

Lentokoneen polttoainejärjestelmän tarkoituksena on mahdollistaa polttoaineen kuormaus, varastointi, hallinta ja toimitus lentokoneen propulsiojärjestelmille sekä varavoimalaitteelle. Polttoainejärjestelmän täytyy pystyä tarjoamaan yhtenäinen polttoaineen kuljetus valmistajan määräämillä virtausnopeuksilla ja paineilla, jotta voidaan varmistaa moottorin ja varavoimalaitteiden asianmukainen toiminta kaikissa olosuhteissa. Tähän sisältyy myös kaikki liikehdintä, joihin lentokone on sertifioitu. (Federal Aviation Administration 2018, 14–2).

Edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi lentokoneen rungon säiliöiden polttoainetta voidaan käyttää jäähdytysnesteinä moottoriin asennetuissa sähköisissä ohjausyksiköissä ja diagnostiikassa parantamaan näiden laitteiden luotettavuutta. Polttoainejäähdytystä käytetään myös rungon osa- ja öljyjärjestelmien sekä käyttökomponenttien jäähdytykseen, ympäristöissä, joissa on korkea lämpötila. Vaikka polttoainetta pidetään yleisesti vähemmän optimaalisena voiteluaineena, sen voitelukyvyllä on merkittävä rooli polttoainepumppujen, -säätimien ja muiden polttoainekäyttöisten toimilaitteiden suorituskyvyssä ja suunnittelussa. Kuluminen ja liukukitka voivat vaikuttaa haitallisesti näiden osien ja laitteiden käyttöikään sekä suorituskykyyn. (Eder 1997, 61).

4.2 Perustoiminta sotilasilma-aluksessa

Nykyaikaisissa sotilasilma-alusten moottoreissa on korkean suorituskyvyn ja jälkipolttimen lisäksi myös mukautuva suihkuuutin sekä sähköinen moottorinohjauksjärjestelmä. Näistä toiminnoista johtuen polttoainejärjestelmästä saattaa muodostua hyvinkin monimutkainen. Kuvassa 1 on havainnollistettu tyypillinen modernin hävittäjän polttoainejärjestelmä.



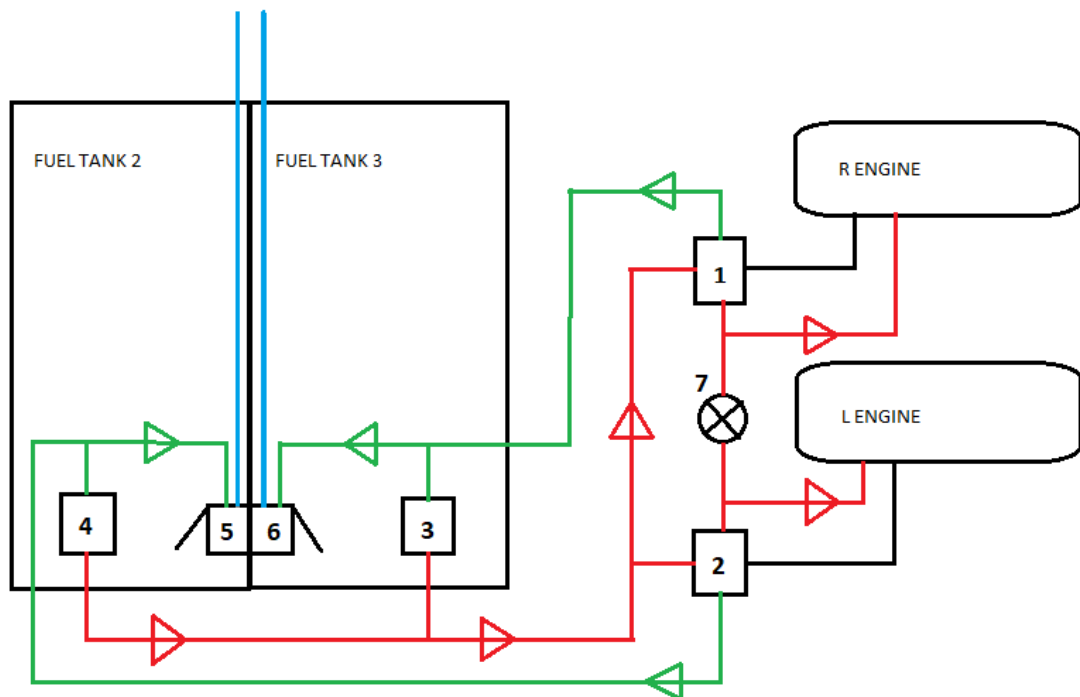
KUVA 1. Sotilasilma-alukselle suunniteltu polttoainejärjestelmä (Eder 1997)

Lentokoneen matalapainesäiliöpumppu tarjoaa polttoainejäähdytyksen elektroniselle moottorin ohjaukselle sekä paluulinjan takaisin tankkiin. Polttoaine lentokoneen tankissa on kaikkein matalimmassa saatavilla olevassa lämpötilassa, joten sitä käytetään elektroniikan jäähdyttämiseen. Palamiseen menevää polttoainetta käytetään ensiksi jäähdyttämään lentokoneen osajärjestelmiä kuten ympäristö-, hydraulii- ja sähköjärjestelmiä. (Eder 1997, 61).

Moottorille tultaessa, polttoaineen painetta kasvatetaan keskipakopumpun avulla tuottamaan riittävä syöttöpaine pääpolttoainepumpulle, vaihepumpulle ja jälkipolttimen polttoainepumpulle, joka on nopea keskipakopumppu. Polttoaineen voiteluominaisuudet ovat tärkeässä roolissa pumppujen kestävyuden ja toiminnan kannalta. Kaasugeneraattorin polttoainetta käytetään moottorin voiteluöljyn jäähdyttämiseen ennen kuin se virtaa polttokammioon. Jälkipolttimen pumppu tuottaa polttoainetta vain itse jälkipolttimelle. (Eder 1997, 61).

4.3 Toimilaitteen selvitys

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltava polttoainesäiliön venttiili sijaitsee polttoainesäiliöiden kaksi ja kolme välissä. Itseasiassa sekä säiliössä kaksi, että säiliössä kolme on kummassakin yksi venttiili, joiden tarkoituksena on säädellä polttoainesäiliöiden välistä polttoaineen virtausta. Venttiilit ovat kiinnitetty säiliöiden sisäpuolelle niiden alaosaan kierrettävien holkkien avulla. Venttiilit eivät ole osa polttoainesäiliöiden kantavia rakenteita eivätkä kannu mitään raskaita kuormia. Kuvassa 2 on esitetty, miten painetta tuotetaan kummallekin polttoainesäiliön venttiilille sekä säiliöpumpuille.



KUVA 2. Paineen tuotto sekä polttoaineen kulku moottoreille

Oikeanpuoleinen polttoainepumppu tuottaa painetta polttoainesäiliölle kolme ja vasemmanpuoleinen polttoainepumppu tuottaa painetta polttoainesäiliölle kaksi. Paineita tuotetaan polttoainesäiliön venttiilien lisäksi myös polttoainesäiliöiden pumpuille. Lisäksi kuvassa on havainnollistettu, miten säiliöpumput syöttävät polttoainetta kummallekin suihkumoottorille. Kuvassa 2 on merkitty numeroilla kaikki oleelliset laitteet paineen tuottamista varten. Oheisessa luettelussa on nimetty nämä laitteet:

1. Oikeanpuoleinen polttoainepumppu
2. Vasemmanpuoleinen polttoainepumppu
3. Kolmannen polttoainesäiliön säiliöpumppu
4. Toisen polttoainesäiliön säiliöpumppu
5. Toisen polttoainesäiliön venttiili
6. Kolmannen polttoainesäiliön venttiili
7. Moottoreiden välinen polttoaineen ristiin syötön sulkuventtiili.

4.3.1 Perustoiminta

Venttiilin työsylinterin toimintaa ohjataan polttoaineen työpaineella, jota tuotetaan runkovaihteistoon kytketyllä polttoainepumpulla. Polttoaineen työpainetta kutsutaan motiivipaineeksi. Paine saa työsylinterin männän työntymään kokonaan ulos, mikä mahdollistaa venttiilin läpän heilahtamisen kiinni, näin ollen katkaisten polttoaineen virtauksen polttoainesäiliöiden välillä. Mikäli motiivipaine laskee tai katoaisi kokonaan, työsylinterin jousipaine pakottaisi männän vetäytymään takaisin sisään samalla pakottaen venttiilin läpän avautumaan. Näin ollen polttoaine pääsee virtaamaan polttoainesäiliöstä toiseen painovoiman avulla. (A1-F18AE-460-100 n.d).

4.3.2 Lämpötilat

Lämpötilat vaihtelevat suuresti ilmakehässä vallitsevien olosuhteiden mukaan. Tyypillisillä matkalentokorkeuksilla (9000–12000 m) lämpötilat vaihtelevat keskimäärin $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja $-57\text{ }^{\circ}\text{C}$ välillä. Tästä johtuen lentopolttoaineiden jäätymispisteet ovat yleisesti hyvin matalia ja esimerkiksi Jet A-1 kerosiinin jäätymispiste on $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lentokoneen rungon eristysten sekä polttoaineen lämmittimien ja kierrätyksen avulla voidaan ylläpitää polttoaineen suotuisia lämpötiloja (Blázquez 2014, 2).

Polttoaineen lämpötilaan vaikuttavat myös muut tekijät. Merkittävimmät syyt polttoaineen lämpenemiselle ovat sen käyttö moottoriöljyn jäähdytyksessä, polttoai-

neen altistuminen auringon säteilylle sekä pitkät seisonta-ajat lämpimissä ympäristöissä, jolloin polttoaineen lämpötila voi nousta 70 °C:een. Todellisuudessa lämpötilaraja on se, joka mahdollistaa virheettömän polttoaineen ruiskutuksen, mikä voi olla jopa 95 °C:ta. Rajan ylittämisen välttämiseksi, polttoainejärjestelmässä on polttoaineen jäähdytysjärjestelmä, joka pitää lämpötilat sallituissa rajoissa. (Blázquez 2014, 2). Tarkastelussa olevan polttoainejärjestelmän sisäisten polttoainesäiliöiden lämpötila pysyy tyypillisesti 10–20 °C asteessa.

4.3.3 Paineet

Kuten kappaleessa 4.2.1 mainittiin, runkovaihteiston pyörittämät polttoainepumput tuottavat motiivipainetta polttoainesäiliöiden kaksi ja kolme venttiileille sekä säiliöpumpuille. Järjestelmille tuotettu painealue on 43–130 psi:tä (noin 3–9 bar). Lisäksi polttoainesäiliön venttiilin läpän toimintaan vaikuttavat eri painealueet, jotka ovat listattuna taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Polttoainesäiliön venttiilin läpän paineensietorajat

	Paine (psi)
Käyttöpaine	0–20
Koepaine	40
Murtumispaine	60

4.3.4 Kemikaalit

Sijaintinsa takia polttoainesäiliön venttiili on pääasiassa vuorovaikutuksessa polttoaineen kanssa. Polttoaineena järjestelmässä käytetään sotilasilmailuun kehitettyä lentopetrolia Jet A-1:stä. Se vastaa siviili-ilmailussa käytettävää Jet A-1 kerosiinia, mutta siihen on lisätty korroosion- ja jäänestoaineita vastaamaan MIL-T-83133D standardin mukaisia vaatimuksia. Lisäksi korroosionestoaineita säätelee MIL-standardi MIL-I-25017 sekä jäänestoaineita standardit MIL-I-27686 ja MIL-I-85470. (MIL-T-83133D 1992)

Muita kemikaaleja, jotka tulevat ottaa huomioon venttiilin toimintaympäristön tarkastelussa ovat erilaiset huoltokemikaalit. Standardin MIL-S-8802F mukaiset kaksikomponenttiset polysulfidityyppiset synteettiset kumimassat integroitujen polttoainesäiliöiden tiivistämiseen ja korjaamiseen (MIL-S-8802F 1990). Lisäksi standardin MIL-S-22473E mukaiset yksikomponenttiset massat ja niiden pohjustusaineet, jotka soveltuvat metalliosien päällystämiseen ja kiinnittämiseen sekä ruuvien lukitsemiseen. (MIL-S-22473E 1983).

4.3.5 Sähköjärjestelmät

Polttoainesäiliön venttiilin läpän asennon ilmaistamiseen hyödynnetään magneettikytkintä (reed switch). Se koostuu venttiilin läpän alaosaan kiinnitetystä kesto-magneetista sekä venttiilin rakenteeseen kiinnitetystä kytkinosasta, jossa on ilmatiiviissä lasiputkessa kaksi ferromagneettista joustavaa metallikosketinta. Kun venttiilin läppä sulkeutuu, magneettikenttä vetää metallikoskettimet yhteen sulkeakseen virtapiirin ja välittääkseen merkkisignaalin tietokoneelle. Läpän avautuessa, magneettikenttä häviää ja jousivoima pakottaa metallikoskettimet irti toisistaan.

4.3.6 Toimintahäiriöiden selvittäminen

Jos toinen (vasen tai oikea) motiivipainejärjestelmä pettää, niin vastakkainen (vasen tai oikea) järjestelmä voi kuljettaa jäljellä olevan polttoaineen pettäneen järjestelmän siirtosäiliöstä (säiliö 1) vasemmalle järjestelmälle ja (säiliö 4) oikealle järjestelmälle, mikäli seuraavat ehdot täyttyvät:

- INTR WING SW ei ole asetettu INHIBIT asentoon
- Polttoaineen määrä ei ole saavuttanut matalaa tasoa
- Operoivan järjestelmän (vasemman tai oikean) syöttösäiliössä täytyy olla riittävästi tilaa vastaan ottaa polttoainetta pettäneen järjestelmän siirtosäiliöstä ja siipisäiliöstä.
- Pettäneessä järjestelmässä täytyy olla ainakin 50 lbs (22,7 kg) polttoainetta siirtosäiliössä ja 50 lbs (22,7 kg) polttoainetta siipisäiliössä. (A1-F18AE-460-100 n.d).

Kun ristikkäinen motiiviventtiili on auki, pettäneen (vasemman tai oikean) järjestelmän säiliöpumppu toimii vastakkaisen järjestelmän tuottamalla motiivipaineella. Polttoaineen virtauksen sulkuventtiili pettäneen järjestelmän polttoainesäiliössä pysyy kiinni, koska ristikkäinen motiivi tarkastusventtiili ei päästä motiivivirtausta kulkemaan venttiilille, joten siirtopolttoaineen täytyy kulkea operoivan järjestelmän säiliöön. Molempien moottoreiden toiminta pystytään ylläpitämään pitämällä moottoreiden välinen polttoaineen ristiin syötön sulkuventtiili auki, mikä mahdollistaa polttoaineen kulun pettäneen järjestelmän moottorille. (A1-F18AE-460-100 n.d).

5 HUOLLON JA TESTAUKSEN SUUNNITTELU

5.1 Koetyö

Koetyö suoritettiin todentamaan, että uuden huoltovalmiuden luonnin toimintamalli on toimiva sekä vaatimusten mukainen. Koetyö suoritettiin oheisen työvaiheiden mukaisesti ja sen pohjalta laadittiin Patrialle sisäinen huolto-ohje. Raportoinnissa otettiin huomioon myös tiedon turvaluokittelu, sillä osa koetyössä suoritetuista toimenpiteistä on luottamuksellisia.

5.1.1 Huollon suunnittelu ja avaus

Huollon suunnittelussa mukailtiin luvun 3.1.2 mukaisia ohjeita. Polttoainesäiliön venttiilin alkuperäisvalmistajan ohjeistuksen puuttuessa, polttoainesäiliön venttiiliä vertailtiin saman toimintaympäristön muihin laitteisiin mahdollisen jo olemassa olevan tiedon hyödyntämiseksi, kuten luvussa 3.2 on mainittu.

Suunnittelun aluksi tehtiin inventaario testaukseen vaadittavista osista sekä varaosista, jonka avulla selvitettiin, että kaikki tarvittava materiaali on saatavilla. Kun puuttuva materiaali tiedettiin, se saatiin heti tilattua suoraan toimitiloihin. Vastaavat toimenpiteet suoritettiin myös kaikille työssä vaadituille työkaluille. Osana huollon suunnittelua suunniteltiin ja valmisteltiin myös testaustilat ja laitteistot venttiilien koekäyttöä varten.

5.1.2 Vastaanotto

Polttoainesäiliön venttiileiden saavuttua toimitiloihin, jokaiselle yksittäiselle venttiilille suoritettiin vastaanottotarkastus. Tarkastuksessa selvitettiin, mitkä laitteista toimivat, jolloin ne otettiin osaksi koetyötä sekä mitkä laitteet eivät toimineet, jolloin ne voitiin ottaa sivuun jo heti alussa. Laitteiden mukana tulleiden saattokort-

tien vikatiedoista saatiin myös apua tähän selvitystyöhön. Ennen vastaanottotarkastuksen aloittamista määritettiin kaikki tarkastuskohteet, jotka jokaisesta laitteesta tulee tutkia.

Vastaanottotarkastus aloitettiin suorittamalla venttiilin rungolle visuaalinen tarkastus. Siinä kartoitettiin, onko rungossa naarmuja, kolhuja, halkeamia tai muita hankaumia sekä silmäiltiin läpi venttiilin yleiskunto. Seuraavaksi tutkittiin tarkemmin venttiilin kierteiden sekä tiivistepintojen kunto erilaisten kolhujen ja kulumien varalta. Magneettikytkimen johtimien tarkastuksessa tutkittiin johtimien tyven kitauksen kuntoa, johtimien eristeiden vaurioita sekä liittimien kiinnitystä. Joissakin tapauksissa toinen liittimistä saattoi puuttua ja joissakin tapauksissa ne puuttuivat kokonaan. Männän liikettä jouduttiin testaamaan sormivoimin, mutta lopulta todettiin, että sen tarkastus jätetään suorittamatta, sillä sormilla puristaminen ei simuloi männän liikettä luotettavasti. Lopuksi yleismittarilla suoritettiin jatkuvuustesti, jolla pystyttiin todentamaan venttiilin magneettikytkimien toiminta. Kaikki vastaanottotarkastuksessa kirjatut huomiot dokumentoitiin Excelissä laadittuun taulukkoon aina laitekohtaisesti venttiilin sarjannumeron perusteella.

5.1.3 Puhdistus

Vastaanottotarkastuksen suorittamisen jälkeen, venttiilistä puhdistettiin huolellisesti sisä- ja ulkopuolelta pois kaikki luvun 4.2.4 kemikaalien jäämät sekä pinttyvät. Erityistä huomiota kiinnitettiin tiivistepintojen puhtauteen. Tähän toimenpiteeseen käytettiin Patrian ohjeistusta.

5.1.4 Korjaus

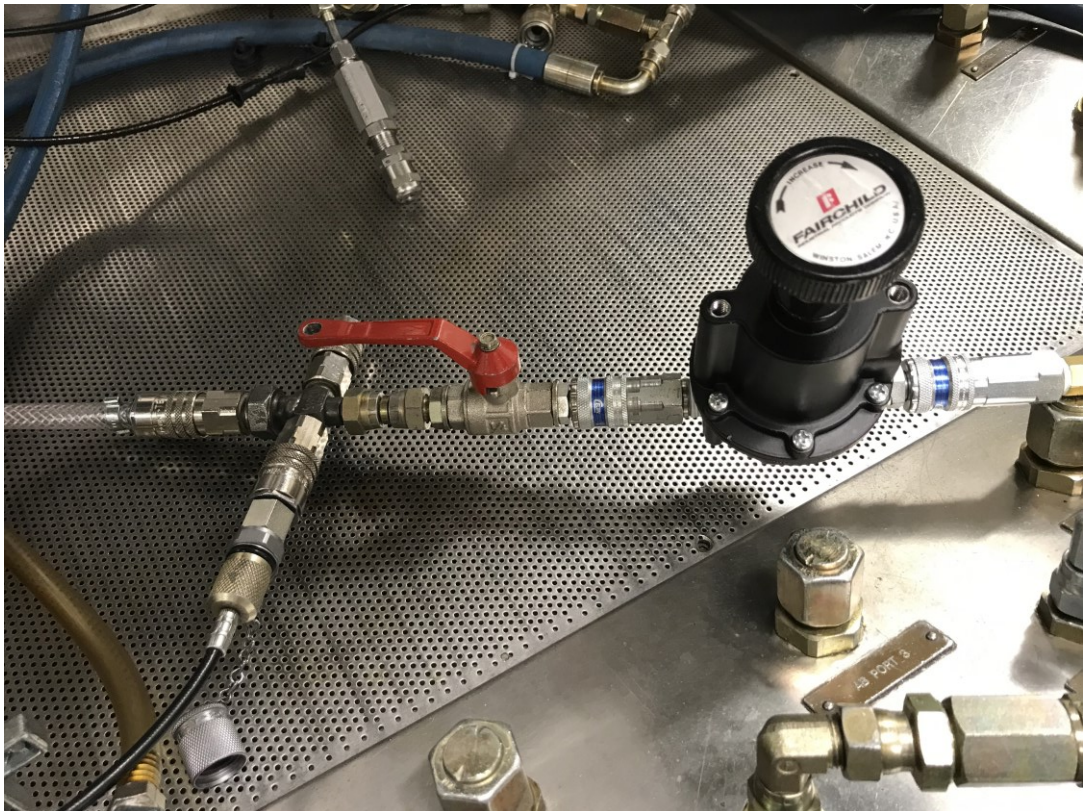
Korjaavat toimenpiteet aloitettiin vaihtamalla venttiilin magneettikytkimen vaurioituneet johtimet. Johtimien kokonaispituudet mitattiin, jonka jälkeen kytkimen tyvestä mitattiin vaadittu pituus ja molemmat johtimet katkaistiin. Pituudet määräytyivät sen mukaan, että vaurioituneet osuudet saatiin varmasti poistettua kokonaan. Tämän jälkeen kumpaankin magneettikytkimeen jääneen johdinosuuden jatkoksi asennettiin uudet johtimet, jotka vastasivat pituuksiltaan poistettujen,

vaurioituneiden johtimien pituuksia. Johtimet liitettiin toisiinsa kiinni puristusliitoksen avulla ja eristettiin kutistettavalla eristehylsällä.

Venttiilin rungon kolhujen ja naarmujen korjauksessa vauriot silotettiin aluksi NAVAIR 02-1-20 kohdan 4–485 mukaisesti. Tämän jälkeen silotettu pinta käsiteltiin alumiinin sivellinkromatointi menetelmällä Patrian sisäisten ohjeiden mukaisesti. Mahdolliset jatkotoimenpiteet ovat määritelty osakohtaisissa työohjeissa.

5.1.5 Testaus

Venttiili testattiin, jotta sen toiminta pystyttiin todentamaan korjaavien toimenpiteiden jälkeen. Polttoainepumpun tuottamaa polttoaineen motiivipainetta simuloitiin testauksessa paineilmalla. Testaus suoritettiin Patrian tiloissa, ja ennen työn aloittamista, koottiin kuvan 3 mukainen testauslaitteisto.



KUVA 3. Venttiilin testauksessa käytetty laitteisto

Paineilman syöttölinja kytkettiin paineensäätimeen, jolla pystyttiin säätämään testattavalle venttiilille kulkevan paineen suuruutta. Paineensäädin kytkettiin jakotukkiin, jonka tarkoituksena on päästää paineilmaa paineanturille sekä testattavalle venttiilille. Laite ei kuitenkaan ollut yhteensopiva jakotukin kanssa, joten tälle välille jouduttiin tekemään kuvan 4 mukainen liitinosa.



KUVA 4. Polttoainesäiliön venttiilin ja jakotukin välinen liitinosa

Paineensäätimen avulla tutkittiin, toimiko venttiilin työsylinterin mäntä oikein vaadituilla painealueilla sekä analysoitiin männän liikettä. Testauksen aikana tarkastettiin myös, toimiko venttiilin magneettikytkin oikein, mikäli johtimien korjaamisvaiheessa olisi tapahtunut virheitä. Kytkimen toimivuus saatiin varmistettua, kun kytkettiin venttiilin johtimien päät ylismittariin ja suoritettiin jatkuvuustestaus. Lisäksi yleismittarilla saatiin mitattua magneettikytkimen resistanssi.

Kaikki testauksen aikana saadut tulokset kirjattiin pöytäkirjaan. Työvaiheet myös valokuvattiin yksityiskohtaisesti ja otokset liitettiin osaksi huolto-ohjetta.

5.1.6 Luovutus

Luovutusvaiheen aluksi todettiin laitteen sekä pöytäkirjojen täsmäävän keskenään sekä todettiin laitteen olevan kokonaisuudessaan kunnossa. Lisäksi todettiin, että laitteen korjauserittelyn vaatimukset ovat täytetty. Pöytäkirja tarkastettiin kohta kohdalta läpi ja todennettiin, että kaikki kohdat oli suoritettu vaatimusten ja ohjeistuksien mukaisesti ja jokainen työvaihe on kuitattu tehdyiksi. Kun luovutus-toimenpiteet saatiin suoritetuiksi, laitteelle laadittiin lentokelpoisuustodistus.

5.2 Huolto-ohjeen laatiminen

Koetyön pohjalta laadittiin Patrialle sisäinen PFA-BOOK-085 huolto-ohje (liite 2, Poistettu salassa pidettävänä). Se mukailee koetyön työvaiheita, mutta sisältää kaiken luottamuksellisen tiedon, joita ei voi julkaista julkisessa opinnäytetyössä.

Huolto-ohjeen laatiminen aloitettiin valitsemalla ensin oikea lomakepohja sisäisestä ohjejärjestelmästä ja nimeämällä uusi huolto-ohje tavalla, josta selviää ohjeen asiasisältö. Alkuun kirjattiin kaikki ohjekirjallisuus, joiden pohjalta uusi huolto-ohje laadittiin.

Huolto-ohjeeseen kirjattiin tarkempi ohjeistus siitä, mitä missäkin työvaiheessa tehdään sekä missä järjestyksessä. Ohjeiden selkeyttämiseksi, koetyövaiheessa otetut valokuvat lisättiin huolto-ohjeeseen havainnollistamaan työvaiheiden suorittamista. Huolto-ohjeen lisäksi laadittiin huoltopöytäkirja (liite 3, Poistettu salassa pidettävänä).

6 TULOKSET

Tuloksena saatiin luotua laiteosastolle uusi toimintamalli, joka on koottu Patrian eri osastojen sekä toimipisteiden menetelmistä ja toimintatavoista. Uuden huoltovalmiuden toimintamalli saatiin onnistuneesti testattua ja todennettua polttoainesäiliön venttiilille suoritettuna koetyön avulla.

Kun uusi huolto-ohje saatiin valmiiksi, se lähetettiin suunnitteluorganisaation, osien lentokelpoisuusvastaavan tarkastettavaksi ja hyväksyttäväksi. Osana prosessia suoritetaan tuotantovalmiuskatselmus ja laaditaan tuotantovalmiuskatselmuspöytäkirja sekä suoritetaan FAI-tarkastus. Hyväksymisen jälkeen voidaan laiteosastolla aloittaa varsinainen polttoainesäiliön venttiilin huoltotoiminta. Lisäksi asentajat ja tarkastajat koulutetaan ja kelpuutetaan laitteen huoltoon ja kunnonmääritykseen.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Työn tavoitteena oli luoda Patrian Linnavuoren toimipisteeseen uusi toimintamalli, jonka avulla voidaan luoda uusia huoltovalmiuksia. Suunnitteluvaihe vaati paljon selvitystöitä, sillä OEM-ohjeiden puuttumisen takia Linnavuoren toimitiloissa ei ollut saatavilla polttoainesäiliön venttiiliin toimintaan, huoltoon tai korjauviin toimenpiteisiin tarvittavia tietoja. Prosessin alkuvaiheessa jouduttiin haastattelemaan eri tahoja, jotta saataisi selvitettyä kyseiseen laitteeseen liittyvät tiedot. Mukana prosessissa oli myös tuotannon ja suunnittelun henkilöstöä.

Polttoainesäiliön venttiilille tehdyn selvitystyön jälkeen suoritettulla koetyöllä pystyttiin todentamaan uusi toimintamalli toimivaksi. Työn tulosten pohjalta saatiin laadittua Patrialle sisäinen huolto-ohje, joka on luottamuksellisen tiedon takia poistettu julkisesta opinnäytetyöstä salassa pidettävänä.

Toimeksiantajan kanssa asetetut tavoitteet saavutettiin ja työ saatiin toteutettua suunnitelman mukaisesti ja aikataulussa. Vaikka koetyö saatiin toteutettua onnistuneesti ja huolto-ohje tehtyä, lopullisten tuloksien arviointi on vielä hankalaa, sillä huolto-ohje odottaa lentokelpoisuusvastaavan hyväksyntää. Opinnäytetyöstä on kuitenkin osoitettavissa konkreettinen hyöty, sillä työssä laadittu huolto-ohje jää käyttöön hyväksynnän jälkeen.

Tulevaisuutta ajatellen, uutta toimintamallia on mahdollista soveltaa myös muissa, saman toimintaympäristön laitteissa sekä uusien huoltovalmiuksien luonnissa. Selvitystyö on aina laitekohtainen, mutta opinnäytetyössä laadittua pohjaa on mahdollista hyödyntää tulevien huoltojen suunnittelussa, erityisesti silloin, kun laitteen OEM-ohjeistuksissa on puutteita tai niitä ei ole, kuten tässä opinnäytetyössä tarkasteltavan laitteen kohdalla.

Koekäyttöä voisi kehittää siten, että jatkossa polttoainesäiliön venttiiliin männän toimintaa testattaisiin paineilman ohella myös nestepaineella, sillä nestepaine simuloisi paremmin polttoaineen motiivipainetta sekä tositilanteita. Saman toimenpiteen voisi suorittaa myös muille motiivipaineella toimiville laitteille.

LÄHTEET

A1-F18AE-460-100. n.d. Fuel System. Principles Of Operation. Ilmavoimien materiaalilaitos.

Aeronautics Guide. 2017. Aircraft Fuel System. aircraftsystemstech. Luettu 17.11.2021.

<https://www.aircraftsystemstech.com/2017/05/aircraft-fuel-system.html#more>

Antinniemi, M. Järjestelmäasiantuntija. 2022. Haastattelut talvi 2022. Haastattelija Moisio, I. Nokia.

AS9100 Store. 2022. What is AS9102 First Article Inspection. Standards Store. Luettu 23.01.2022.

<https://as9100store.com/aerospace-standards-explained/what-is-as9102-first-article-inspection/>

AS9102B. 2014. Aerospace First Article Inspection Requirement. SAE International. Luettu 22.01.2022. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://saemobilus-sae-org.libproxy.tuni.fi/content/AS9102B/>

Blázquez, P. 2014. Fuel temperature estimation and energy balance within an UAV integral wing fuel tank. Witpress. Luettu 09.12.2021.

<https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/HT14/HT14040FU1.pdf>

Eder, M. 1997. Engine Fuel System Design Issues. The National Academic Press. Luettu 9.12.2021.

<https://www.nap.edu/read/5871/chapter/4>

Federal Aviation Administration. 2018. Aircraft Fuel System. Aviation Maintenance Technician Handbook – Airframe, Volume 2. Oklahoma City: Aviation Supplies & Academics.

Glossop, A. 2021. What is a First Article Inspection Report and why is it important. Ideagen. Luettu 21.01.2022.

<https://www.ideagen.com/thought-leadership/blog/first-article-inspection-report>

Hoffren, J. & Saarela, O. 2019. Lentotekniikan perusteet. 2. painos. Helsinki: Opetushallitus.

HOK-AVI. 2021. Huolto-organisaation käsikirja. Halli: Patria Aviation Oy. Luettu 24.02.2022.

Kaasalainen, J. Järjestelmäasiantuntija. 2022. Haastattelut talvi 2022. Haastattelija Moisio, I. Nokia.

Lockheed Martin Corporation. 2019. First Article Inspection. Lockheed Martin. Luettu 22.01.2022.

<https://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed-martin/eo/documents/suppliers/rms/rms-quality-fai.pdf>

MIL-S-8802F. 1990. Sealing Compound, Temperature-Resistant, Integral Fuel Tanks and Fuel Cell Cavities, High-Adhesion. EverySpec. Luettu 18.01.2022.
http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-S/MIL-S-8802F_9187/

MIL-S-22473E. 1983. Sealing, Locking and Retaining Compounds (Single-Component). EverySpec. Luettu 18.01.2022.
http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-S/MIL-S-22473E_13161/

MIL-T-83133D. 1992. Turbine Fuels, Aviation, Kerosene Types, NATO F-34 (JP-8) and NATO F-35. EverySpec. Luettu 10.12.2021.
<http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-T/download.php?spec=MIL-T-83133D.014545.PDF>

Patria. 2020. Lentokoneiden kaasuturbiinimoottorit. Luettu 19.01.2022.
<https://www.patriagroup.com/fi/palvelut/moottoreiden-elinkaarituki/lentokoneiden-kaasuturbiinimoottorit>

Patria. 2020. Vuosikertomus 2020 - katsaus. Luettu 02.12.2021.
<https://www.patriagroup.com/fi/tietoa-meista/vuosikertomus>

Patria. 2022. Uusi Patria. Luettu 19.01.2022.
<https://www.patriagroup.com/fi/media/tiedotteet/2022/uusi-patria-112022>

SIM-To-Lt-031. 2021. Vaatimukset sotilasilma-alusten huolto-organisaatiolle. Ilmavoimat. Luettu 19.01.2022.
<https://ilmavoimat.fi/documents/1951206/2212089/SIM-To-Lt-031/49a5193c-d80f-5d56-7d46-a03dab12917d/SIM-To-Lt-031.pdf>

SIM-To-Lt-034. 2021. Vaatimukset sotilasilma-alusten lentokelpoisuuden tarkastusorganisaatiolle. Ilmavoimat. Luettu 19.01.2022.
<https://ilmavoimat.fi/documents/1951206/2212089/SIM-To-Lt-034.pdf/0e9d59cf-3386-4e96-9c35-2ce5865de28e/SIM-To-Lt-034.pdf?t=1458292596000>

SunPower electronics. 2019. OEM. Luettu 21.01.2022
<https://www.sunpower-uk.com/glossary/what-is-an-original-equipment-manufacturer-oem/>

LIITTEET

Liite 1. Tuotantovalmiuskatselmuspöytäkirja

1 (2)

TUOTANTOVALMIUSKATSELMUSPÖYTÄKIRJA (TKP) PRODUCTION READINESS REVIEW REPORT	
Katselmointityyppi / Type of review :	
Tuotantovalmiuskatselmuksen kohde ja huoltovalmiuden taso Object of production readiness review and level of capability	Osanumero(t) / Part number(s) :
Katselmusryhmä / PRR group :	Asiakas / Customer :
TARKASTUSKOHTEET / Inspection objects	
1. Hyväksytyt tiedot / Approved documentation :	
2. Työvälineet / Equipments :	
3. Materiaalit / Materials :	
4. Toimitilat / Facilities :	

1 (2)

2 (2)

TUOTANTOVALMIUSKATSELMUSPÖYTÄKIRJA (TKP) PRODUCTION READINESS REVIEW REPORT	
5. Henkilöstövaatimukset / Personnel Requirements :	
6. Erityisprosessit / Special Processes :	
MUUT HUOMIOT JA TOIMENPITEET / OTHER NOTICES AND ACTIONS:	
<p>Tuotantovalmiuskatselmusryhmä on suorittanut katselmuksen ja todennut tuotantovalmiuden täyttävän viranomaisen / asiakkaan vaatimukset / <i>PRR group has completed the review and found the production readiness to meet the authority / customer requirements</i></p>	
<p>Tuotantovalmiuden hyväksyntä <i>Production readiness approval :</i></p> <p style="text-align: right;">Pvm/Date : _____</p>	<p>Tiedoksi saatu / Received the information : <i>Asiakas / Customer :</i></p> <p style="text-align: right;">Pvm /Date : _____</p>

2 (2)

Liite 2. Huolto-ohje

POISTETTU SALASSA PIDETTÄVÄNÄ (7 sivua)

Liite 3. Huoltopöytäkirja

POISTETTU SALASSA PIDETTÄVÄNÄ (6 sivua)