

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Lentokonetekniikka

Tutkintotyö

Ilari Saario

ROBOTTISOLUN KÄYTTÖÖNOTTO JA VALMISTELEVAT TOIMENPITEET

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2008

Linjanjohtaja DI Heikki Aalto
Patria Aviation Oy, Valvoja Seppo Kuntala

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Lentokonetekniikka

Ilari Saario

Opinnäytetyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Toukokuu 2008

Hakusanat

Robottisolun käyttöönotto ja valmistelevat toimenpiteet

49 sivua + 4 liitesivua

Linjanjohtaja DI Heikki Aalto

Patria Aviation Oy, Valvoja Seppo Kuntala

Robottisolu, koneistus, ILEF

TIIVISTELMÄ

Suomen ilmavoimien F18 Hornet-kalustossa alkaa lähivuosina joukko rakenteellisia korjauksia koneen elinkaaren ylläpitämiseksi ja jatkamiseksi. Eräänä korjauskohteena ovat koneen siiven johtoreunassa olevat etureunasiivekkeet. Siivekkeiden korjauksen osalta on aloitettu tarvittavat toimet rakenteen väsymistä ja säröilyä ennaltaehkäisevän korjaustyön aloittamiseksi.

Sovittiin, että siivekkeiden korjaus tehdään Patria Aviationin toimesta ja tiloissa. Korjaustyölle ei ollut vielä laadittu minkäänlaista suunnitelmaa muutoin kuin korjausta varten kehitetyn laitteiston tilauksen osalta, joten tässä tutkintotyössä pyrittiin laatimaan suunnitelmaa työn suorittamisen pohjaksi.

Tutkintotyön tarkoituksena oli selvittää hieman taustoja, minkä vuoksi korjaus tarvitsee suorittaa ja minkälaisella laitteistolla työ tehdään. Tarkoituksena oli myös pohtia ja esitellä vaihtoehtoja laitteiston sijoittamiseen sekä työn suorittamiseen ja tuotannon aloittamiseen liittyvissä asioissa.

Pohdintojen tuloksena on määritetty työllä tarvittavat resurssit sekä henkilöstön koulutusasioiden järjestelyt. On myös ehdotettu laitteistolle varteenotettavia sijoituskohteita sekä niiden etuja ja haittoja. Lopussa laadittiin alustava tuotantosuunnitelma työlle, jossa selvitetään, minkälaisilla toimilla työ saadaan etenemään dokumentoinnin, työpapereiden ja -tehtävien osalta.

Työn tuloksena syntyneen alustavan tuotantosuunnitelman tarkentaminen sekä lisäsuunnittelu aikataulutuksen osalta tulevat olemaan tulevaisuudessa tärkeimmät kehityskohteet tämän korjaustyön osalta.

TAMK University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Aeronautical Engineering
Ilari Saario
Engineering Thesis
Thesis Supervisor
Commissioning Company
May 2008
Keywords

Introduction and preparation of a Robotic Cell
49 Pages + 4 appendices
Heikki Aalto (MSc)
Patria Aviation Oy, Supervisor Seppo Kuntala

Robotic Cell, Machining, ILEF

ABSTRACT

In the near future the Finnish Airforce's F18 Hornet fleet is going through several structural repairs. One object which needs repairing is the inboard leading edge flap hinge area. It has been decided earlier that FiAF's subcontractor Patria Aviation is going to accomplish the ILEF hinge repairs. The meaning of this research was to clarify why it is important to do the repairing to the flaps and what kind of equipment this work requires. Also in this study there are some solutions how to locate the equipment and what kind of things have to be considered when beginning this kind of production line. As a result of this study there are information how much resources is needed and how is the training sorted out. The research presents few relatively good sites where to locate the repairing equipment. In the end there is a provisional production plan where are shown the solutions how the production line is going to work. Provisional plan of production management system is also presented in this context. The main goal of this study was to familiarize and be as a basis for the repairing project.

ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö on tehty Patria Aviation Oy:n toimeksiannosta kevään 2008 aikana. Työn aihevalinta tehtiin esimieheni Seppo Kuntalan esittämien vaihtoehtojen pohjalta.

Kiitän tutkintotyöni ohjaajaa Heikki Aaltoa sekä koko lentokonetekniikan linjaa hyvästä opetuksesta viimeisten neljän vuoden aikana.

Erityisesti kiitän Patria Aviationia ja esimiestäni Seppo Kuntalaa, jolla oli osoittaa minulle mielenkiintoinen harjoittelujakso ja sen lisäksi hyvä tutkintotyöaihe. Kiitoksia myös koko rakennekorjausosaston henkilöstölle ja muidenkin osastojen välle, joiden kanssa olen saanut tehdä yhteistyötä niin tutkintotyön osalta kuin muissa työtehtävissä.

Hallissa 12.5.2008

Ilari Saario

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENTEET JA MERKINNÄT

1 JOHDANTO.....	8
2 PATRIA-KONSERNI JA PATRIA AVIATION.....	9
2.1 Patria konserni	9
2.2 Patria Aviationin lentokonehuollon osuus.....	11
2.3 Lentokonehuollon rakennekorjausosasto	13

I TYÖN TAUSTATEKIJÄT

3 F18 HORNETIN RAKENNEPÄIVITYKSIÄ.....	13
3.1 Kuulapuhallusprosessin teoriaa	17
4 SYYT KONEISTUSSOLUN PERUSTAMISEEN PATRIALLE.....	20
5 ILEF-MODIFIKAATION ROBOTTISOLU	21

II SELVITYSOSUUS

6 RESURSSIEN MÄÄRITYS	25
7 LAITTEISTON KÄYTTÖKOULUTUS JA TYÖHÖN PEREHDYTYS.....	27
8 LAITTEISTON SIOITTAMINEN PATRIAN TILOIHIN	27
8.1 Tilavaihtoehto 1	30
8.2 Tilavaihtoehto 2.....	32
8.3 Tilavaihtoehto 3.....	35
8.4 Solun asennustyöt.....	36
8.5 Layoutin valinta.....	37
9 PROSESSIN KUVAUS	39
9.1 Tarvittava dokumentointi	40
9.2 Koneistusprosessin kulku	42
9.3 Laitteiston ylläpito.....	43
9.4 ILEF-modifikaation alustava tuotannosuunnittelu	44

10 YHTEENVETO	48
LÄHTEET	49

LYHENTEET JA MERKINNÄT

FiAF	Suomen ilmavoimat (Finnish Airforce)
ILEF	Inboard Leading Edge Flap (etureunasiiveke)
HN	McDonnell Douglas F18 Hornet hävittäjä
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company
NH-90	NATO Helicopter for the 90's
HW	BAE Hawk-hävittäjäharjoituskone
RG	Valmet Redigo-yhteyskone
VN	Valmet Vinka-alkeiskoulutuskone
CC	EADS Casa kuljetuskone
FF	Fokker kuljetuskone
HeKo	Helikopterit
NDT	Ainetta rikkomaton tarkastusmenetelmä
LTJ	Suomen ilmavoimien tietokantajärjestelmä

1 JOHDANTO

Tässä tutkintotyössä selvitetään F-18 Hornet-torjuntahävittäjän siiven johtoreunan siivekkeen (ILEF) modifikaatioon hankittavan koneistuslaitteiston asentamiseen ja käyttöönottoon liittyviä seikkoja. Koneistuslaitteisto sijoitetaan modifikaatiotyön alihankintana Ilmavoimille tekevän Patria Aviationin lentokonehuollon yhteyteen. Laitteisto hankitaan kanadalaisen puolustusalan yrityksen L-3 Communicationsin lisenssillä, joka hoitaa laitteiston toimituksen ja hankinnan, avustaa asennustyössä, opastaa työn aloitusvaiheessa sekä tarjoaa käyttökoulutuksen.

Työssä pohditaan koneistussolun perustamiseen liittyviä tekijöitä tilarajoitteiden, layoutin, tilan valmistelun sekä itse asennustyön osalta. Tavoitteena on pohtia työn resurssitarvetta sekä selvittää modifikaatioprosessin kulku työvaiheineen. Tuotannon aloittamisen tueksi laaditaan myös alustava tuotantosuunnitelma käsittäen esityksen työssä mukana olevien tahojen tehtävistä ja työllä tarvittavasta dokumentaatiosta.

Aihevalinta pohjautuu täysin Patrian tarpeeseen selvittää koneistussolun perustamiseen tarvittavia taustatietoja. Kyseessä olevaa modifikaatiotyötä on suorittanut L-3 MAS Canada (Military Aviation Services), joka modifioi Kanadan ilmavoimien F/A-18 Hornet kantaa kyseisellä koneistustekniikalla. Suomen Ilmavoimissa tämän modifikaatiotyön tarpeellisuus on todettu nyt ajankohtaiseksi, sillä työn antama hyöty on saavutettavissa vain tietyllä aikavälillä modifioitavan kappaleen elinkaaren aikana. Modifikaatiotyön teettämistä Patrialla tukee kustannuslaskelmat, jotka kertovat koneistuslaitteiston hankinnan koituvan huokeammaksi kuin vastaavan työn teettämisen L-3-yrityksessä, joka on tällä hetkellä ainoa kyseistä modifikaatiotyötä tekevä taho. Myös erinäisten riskitekijöiden poissulkeminen puoltaa laitteiston hankintaa.

Tutkintotyön tavoitteena on pohtia ja selvittää, kuinka laitteisto sijoitetaan sille varattuun tilaan, määrittää työssä käytettävät resurssit sekä muodostaa alustava suunnitelma työn suorittamiseksi annettujen taustatietojen pohjalta.

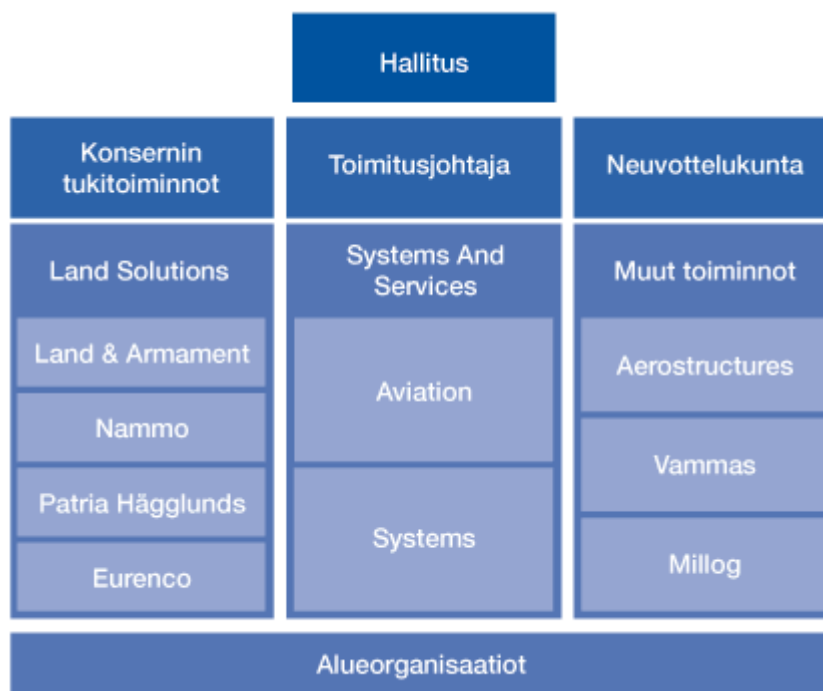
2 PATRIA-KONSERNI JA PATRIA AVIATION

Patria-konserni on kansainvälisesti toimiva puolustusalan toimija, joka tuottaa erilaisia palveluja maalaitteista ilmailuun. Tämä kappale käsittelee lyhyesti Patria-konsernia ja keskittyy tarkemmin konserniin kuuluvaan Patria Aviation-liiketoimintaan, jonka toimintoihin tämä tutkintotyö liittyy.

2.1 Patria konserni /6/

Patria on kansainvälisesti toimiva puolustus- ja ilmailuteollisuuskonserni. Konsernin omistus jakautuu Suomen valtion (73,2 %) ja EADS:n (European Aeronautic Defence and Space Company) (26,8 %) kesken.

Nykyinen konsernirakenne jakaa liiketoiminta-alueet kolmeen pääkategoriaan, jotka on esitetty kuvassa 1.



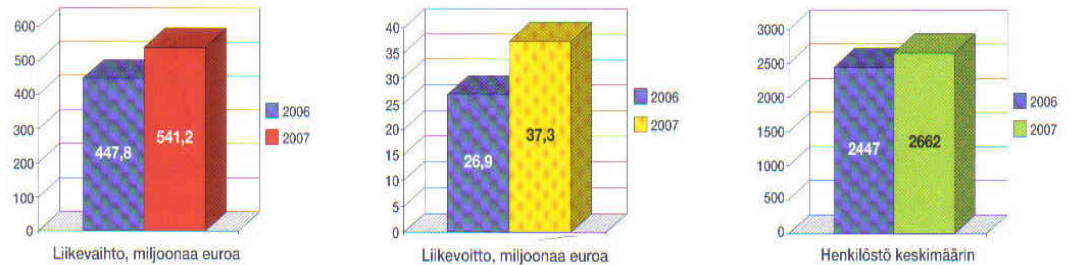
Kuva 1 Patria konsernin rakenne 1.1.2008 alkaen /6/

Edelleen Land Solutions-liiketoiminta voidaan jakaa neljään alalohkoon, joita edustavat Land & Armament-, Patria Hägglunds-, Nammo- ja Eurenco-liiketoiminnat. Land & Armament-liiketoiminta kehittää ja valmistaa keskiraskaita panssaroituja pyöräajoneuvoja sekä tarjoaa niiden tukipalveluja sekä kehittää ja myy erilaisia kranaatinheitinjärjestelmiä puolustusteollisuudelle. Patria Hägglunds vastaa Amos-kranaatinheitinjärjestelmähankkeista. Nammo ja Eurenco-liiketoiminnat ovat keskittyneet ammus- ja ohjustuotteiden sekä räjähdäaineiden valmistukseen.

Uuden organisaatiomallin pohjalta Systems ja Services-liiketoiminta on jaettu kahteen osa-alueeseen, joita ovat Aviation ja Systems. Aviation-liiketoiminta tuottaa sotilaslentokoneiden tukipalveluja sekä rungon, järjestelmien että moottorin osalta. Aviationin helikoptereihin (entinen Helicopters) erikoistunut yksikkö keskittyy helikopterien tukipalveluihin sekä suorittaa kokoonpanoa liittyen yhteispohjoismaiseen NH-90-helikopterihankkeeseen. Myös lento-opetus ja siihen liittyvät toiminnot löytyvät Aviationin tarjonnasta (entinen Training). Tämä yksikkö tarjoaa ammattiin valmentavaa peruskoulutusta ja jatkokoulutusta sekä sotilas- että siviililentäjille. Systems keskittyy tarjoamaan asiakkaalle vaativia järjestelmä- ja laitetöitä. Erikoisosaamisalueina Systems tarjoaa tiedustelu-, valvonta- ja johtamisjärjestelmiin liittyviä sovelluksia sekä elinkaaritukea laitteiden käyttäjille.

Kolmas konsernin pääosa-alue on Other Operations, joka sisältää Aerostructures- ja Vammass- liiketoiminnat sekä uuden Millog Oy:n. Aerostructures-liiketoiminnan pääalueita ovat vaativat komposiittirakenteiden suunnittelu- ja valmistustyöt. Esimerkkinä Aerostructuresin asiakkaista on Airbus, jonka projekteissa liiketoiminta on vahvasti mukana. Vammass on keskittynyt lentokentillä käytettävän kaluston kehitysohjelmaan ja esimerkiksi heidän tuotteistaan ovat lentokenttien lumenraivauskalusto sekä erilaiset ratkaisut lentorahdin käsittelyyn. Millog on uusi tuttavuus näistä liiketoiminnoista ja sen tärkeimpiä tehtäviä on toimia Puolustusvoimien strategisena kumppanina ja tuottaa maavoimien puolustusmateriaalin elinkaaren tukipalveluita.

Seuraavassa kuvassa 2 on esitetty Patrian liikevaihdon ja -voiton nykytila sekä henkilöstömäärä konsernissa.



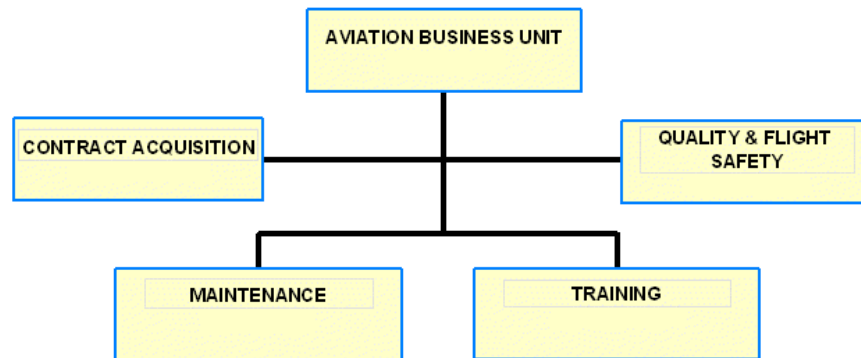
Kuva 2 Patrian tulosta liikevaihdon, liikevoiton ja henkilöstön määrän osalta vuonna 2007 /3/

2.2 Patria Aviationin lentokonehuollon osuus /6/

Aviation-liiketoiminta tarjoaa sotilaslentokoneiden sekä -helikoptereiden elinkaaren tukipalveluita pääasiakkaanaan Suomen Ilmavoimat. Käytännössä Patria Aviation huolehtii Ilmavoimien kaluston (HN, HW, RG, VN, CC, FF, HeKo) vaativimmista huolto-, korjaus- ja modifikaatiotöistä. Edellä mainittujen lisäksi Aviation tarjoaa asiakkaalleen varaosapalvelun sekä teknisen tuen palvelut. Uuden organisaation myötä myös lentokoulutus on siirtynyt Aviationin alaiseksi (kuva 4).

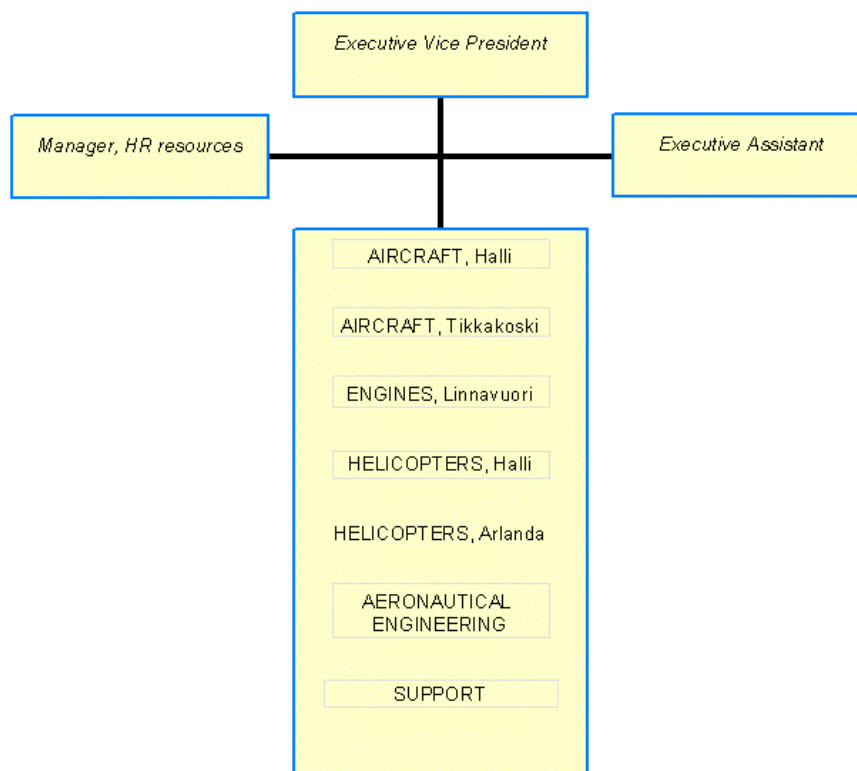


Kuva 3 Suomen Ilmavoimien F18 Hornet on Patrian päähuollettavia /7/



Kuva 4 Patria Aviation-liiketoiminnan jakaantuminen /8/

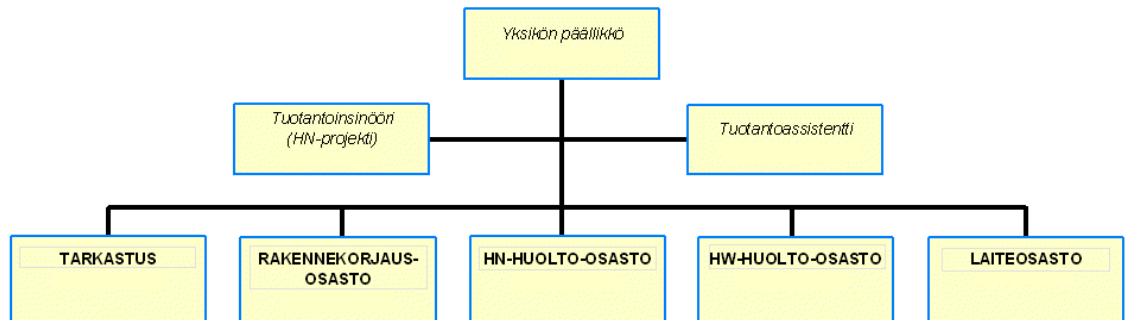
Aviation-liiketoiminta on keskittynyt Hornet, Hawk ja helikopterien huollon osalta Jämsän Halliin. Moottorihuolto on sijoitettu Nokian Linnavuoreen ja muut liiketoiminnan toimipisteet ovat Tampereella ja Tikkakoskella (kuva 5).



Kuva 5 Patria Aviation-liiketoiminnan kunnossapidon organisaatio /8/

2.3 Lentokonehuollon rakennekorjausosasto

Rakennekorjaamo toimii yhtenä lentokonehuollon osa-alueena Jämsän Hallin toimipisteessä. Seuraavassa kuvassa 6 näkyy, kuinka lentokonehuollon toiminta jakautuu sekä rakennekorjauksen sijoittuminen organisaatiossa.



Kuva 6 Lentokonehuollon organisaatio /8/

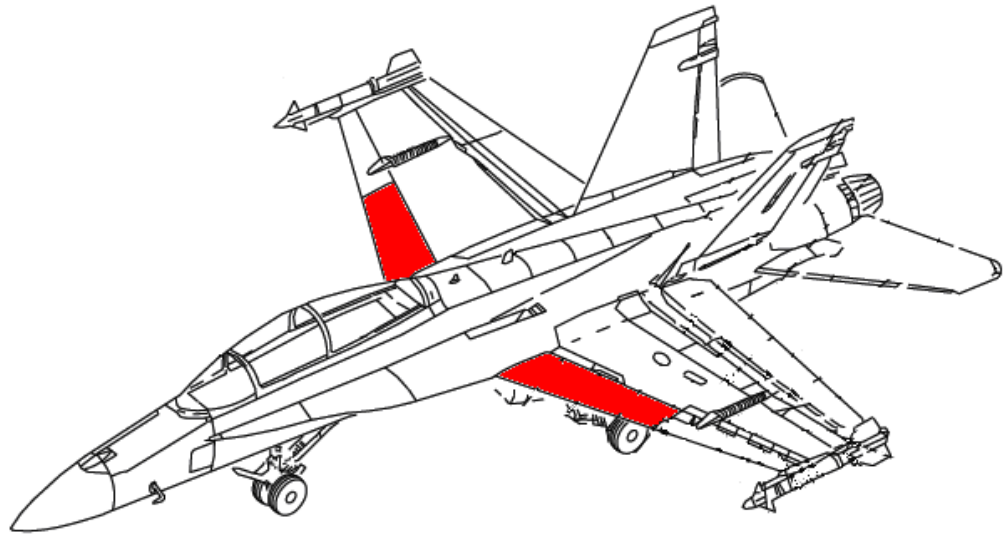
Rakennekorjaus tuottaa erilaisia korjauksia ja modifikaatioita pääasiassa Suomen Ilmavoimien kalustolle. Tämän lisäksi valmistetaan erilaisia varaosia ja muita tuotteita asiakkaalle. Esimerkkinä rakennekorjaamon toiminnasta on HN-468-modifikaatiotyö, jossa valmistetaan uusi kaksipaikkainen Hornet-hävittäjä Ilmavoimien vahvuuteen. Muita rakenteellisia korjauksia tehdään laaja-alaisesti varsinkin Hornet- ja Hawk-kaluston runkorakenteisiin sekä ohjainpinnoille.

I TYÖN TAUSTATEKIJÄT

3 F18 HORNETIN RAKENNEPÄIVITYKSIÄ /1/

Suomen ilmavoimat pyrkii pitämään Hornet-konekannan mahdollisimman pitkään käytössä, jotta koko sille arvioitu elinkaari saadaan käytettyä. Näille koneille on ominaista ajan kuluessa rakenteessa esiintyvät väsymisilmiöt. Tämän johdosta koneille on aika-ajoin tehtävä rakenteellisia modifikaatioita ja korjauksia. F18 Hornet-koneisiin on määritelty muutamia kohtia rakenteessa, jotka vaativat tietyllä

hetkellä korjausta. Korjauskohteet sijaitsevat siipien rakenteissa sekä keskirungon puolella. Tällä hetkellä eräs korjauskohde eliniän pidentämistä silmällä pitäen löytyy koneen ohjainpinnoista tarkennettuna siiven etureunasiivekkeestä (ILEF) (kuva 7).



Kuva 7 Punaisella on merkitty korjausta vaativat etureunasiivekkeet

Hornetissa käytetään etureunasiivekkeitä edesauttamaan koneen sujuvampaa liikehdintää erilaisissa lentotiloissa. Koneen siipikokonaisuus muodostuu ulko- ja sisäsiivestä, ja tämä korjaus käsittää sisäsiiven etureunasiivekkeen sarana-alueen koneistuksen. Muiden tätä konetyyppiä käyttävien maiden tekemien havaintojen pohjalta on tehty päätös tämän ohjainpinnan korjauksista. On havaittu, että 4000 tuntia lennetyissä etureunasiivekkeissä on alkanut esiintyä säröilyä sarana-alueen ympäristössä. Saranakorvakekokonaisuus on valmistettu 7050-sarjan alumiinista. Väsytyksokokeissa säröytymisilmiö on havaittu jo 3000 simuloidun lentotunnin kohdalla. Niinpä on kaavailtu, että turvallisen käytön takaamiseksi Suomen Ilmavoimien käyttämissä koneissa tämän alueen korjaus olisi tehtävä noin 2500-3000 lentotunnin ikkunassa. Ennaltaehkäiseväksi korjausmenetelmäksi on valittu mahdollisten alkusäröjen poisto jyrkimällä sekä tämän jälkeen sarana-alueen pinnan muokkaus kuulapuhaltamalla. Menetelmä on peräsin Kanadan ilmavoimilta, jonka kalustolle on tehty vastaava käsittely alihankintatyönä. Korjauksessa käytetään automatisoitua prosessia, jossa työn tekee teollisuusrobotti. Kun korjaus tehdään automatisoidusti, saadaan työlle

tasalaatuinen lopputulos. Osaltaan syynä korjauksen aloitukseen tässä vaiheessa vaikuttaa myös korjattavan sarjan kohtalaisen suuri lukumäärä. Johtuen monista erinäisistä seikoista kaluston käyttöön ja korjaustyön tekijän resursseihin sekä muihin tekijöihin pohjautuen voi korjaustyö koko kaluston osalta kestää useamman vuoden. Näin ollen on tärkeää aloittaa työ hyvissä ajoin, jotta viimeisetkin kappaleet ehditään korjata ennen vaaditun ajanjakson umpeutumista. Kuvissa 8-10 on esitetty etureunasiiveke ja sarana-alue, joka laipasta tulisi koneistaa. Kuvat ilman lähdeviittausta ovat itse otettuja.



Kuva 8 Hornet-koneen oikeanpuoleinen etureunasiiveke irrotettuna



Kuva 9 Etureunasiivekkeen kiinnityspiste käyttölaitteen osalta

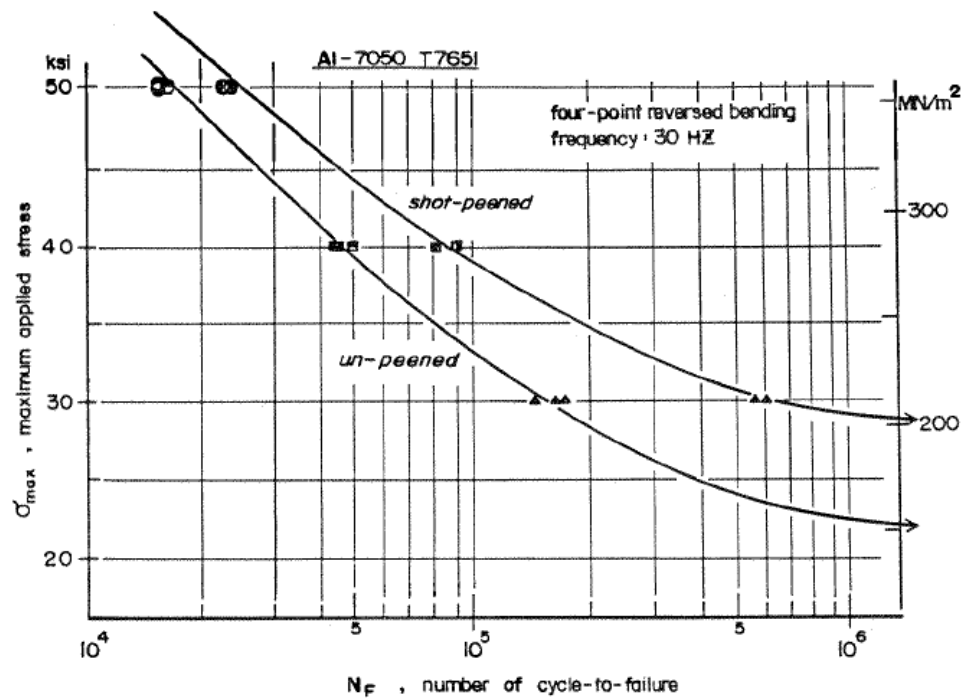


Kuva 10 Etureunasiivekkeen sarana-alue. Säröytyminen alkaa suurimmalla todennäköisyydellä korvakkeiden juuresta /1/

3.1 Kuulapuhallusprosessin teoriaa /1/

Tämä kappale selvittää hieman kuulapuhallusmenetelmää ja sen antamia hyötyjä käsiteltävälle kohteelle. ILEF:n korjauksessa on päätetty käyttää kuulapuhallusmenetelmää mahdollisten edessä olevien ongelmien ehkäisemiseksi. Kuulapuhallus luokitellaan kylmämuokkausmenetelmäksi, jossa käsiteltävään metallipintaan kohdistetaan kuulasuihku, joka muokkaa pintaa aiheuttaen siihen puristusjännityksen. Puhallettaessa metallin pintaan iskeytyy suuri joukko partikkeleita, jotka yhdessä tekevät pintaan lukemattomia puolipallon muotoisia koloja, jotka venyttävät materiaalin pintaa. Puhalluksen jälkeen kappaleen pinta on puristuksessa ja pintakerroksen alla oleva kerros on vedossa aiheuttaen välillä suurenkin jännityseron puristus- ja vetojännityksen välille. Nimenomaan näiden jännitysten arvot vaikuttavat kappaleen väsymisenkestoon vähentäen myös osaltaan jännityskorroosiota. Kuulapuhalluksella saatava hyöty on kuitenkin rajallinen, sillä pintaan tällä menetelmällä tuotettava jäännösjännitys ei voi kasvaa tiettyä pistettä suuremmaksi. Tähän vaikuttaa suuresti määrin muokattavan kohteen materiaali ja sen ominaisuudet.

Kuvassa 11 nähdään S/N-käyrän avulla kuulapuhalluksen vaikutus kuormituksen alaisen ja tässä tapauksessa jo ennalta säröytyneen materiaalin väsymisominaisuuksiin. Ylempi käyrä kuvaa kuulapuhallettua materiaalia, jonka kestävyys on huomattavasti parempi pitkäkestoisen rasituksen vaikuttaessa kuin vastaavalla käsittelemättömällä materiaalilla. Kuvan 11 materiaali on sama kuin etureunasiivekkeen saranalinjassa eli 7050-sarjan alumiini vain lämpökäsittely eroaa hieman.



Kuva 11 Kuulapuhalluksen vaikutus Al 7050 väsymisominaisuuksiin /9/

Kontrolloitavia asioita kuulapuhallusta suoritettaessa ovat puhalluksen peitto, eli kuinka taajaan partikkelit ovat pommittaneet tiettyä alaa pinnasta. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat kuulien koko, materiaali ja kovuus sekä puhallusnopeus ja kuulasuihkun tulokulma suhteessa pintaan. Nämä tekijät vaikuttavat puhalluksen intensiteettiin eli tehokkuuteen. Intensiteetillä kuvataan kuulasuihkun aiheuttaman puristusjännityksen suuruutta kappaleen pinnassa. Intensiteetin suuruutta testataan Almen-testiliuskoin, jossa puhalluksen aiheuttama liuskan taipuma kertoo niillä parametreilla tehdyn puhalluksen intensiteetin.

Johdatteluna aiheeseen tässä kappaleessa käydään yleisellä tasolla läpi kuulapuhalluslaitteiston perustarvikkeet ja työkalut. Tutkintotyön myöhemmässä vaiheessa käydään läpi ILEF-työn suorittamiseen hankittava laitteistoratkaisu. Kuulapuhallustyön tärkeimmät työkalut ovat tietenkin itse puhalluskuulat. Paljon käytetyt kuulamateriaalit ovat rauta ja teräs. Myös nykyajan materiaalit keraami- ja lasikuulien osalta ovat tehneet tuloaan puhallusmateriaaleiksi. Käytössä olevista kuulamateriaaleista suosituin on teräs, josta valamalla ja lämpökäsittelmällä saadaan aikaan halutun kovuinen materiaali. Myös rautakuulat valmistetaan valamalla ja ne ovat usein teräskuulia halvempia, mutta rautakuulien kestävyys on heikempi, joka rasittaa osaltaan puhalluslaitteistoa. Lasikuulia käytetään ohuiden

kohteiden puhaltamiseen sekä tiettyjen metallien kuten alumiinin ja titaanin puhaltamiseen, joita ei rauta- tai teräskuulilla voi mahdollisen haitallisen reagoinnin vuoksi käsitellä. Lasikuulien kilpailijaksi ovat tulleet keraamiset kuulat, jotka kuitenkin ovat hieman arvokkaampia kuin lasista valmistetut. Etuna keraamisilla kuulilla on niiden korkea kestävyys ja tätä kautta hyvä uusiokäyttöaste. Kuulapuhalluslaitteiston peruskomponentit ovat puhalluslaite, kuulien kierrätyslaite sekä puhallettavan kappaleen liikuttamiseen tarvittava laitteisto. Kuulat saadaan liikkeelle joko lapapuhaltimella, jossa moottori pyörittää lapoja aiheuttaen kuulia eteenpäin kuljettavan virtauksen, tai paineilman avulla.

Kuulapuhalluksella on muutamia käyttörajoituksia, joita aiheuttavat kappaleen muoto ja koko sekä pinnan laatu. Myös muokattavan kappaleen käyttöympäristö voi tehdä kuulapuhalluksen antaman edun tyhjäksi esimerkiksi liian korkea lämpötila päästää pintaan aiheutetun puristusjännityksen. Kappaleen muoto rajoittaa kuulapuhallusta lähinnä pienisäteisissä kulmissa, joihin kuulat eivät pääse tunkeutumaan. Käytetty puhallusmenetelmä, koskien lähinnä menetelmän automatisointia, voi aiheuttaa luoksepäästävyyden kanssa ongelmia sekä myös erilaiset luoksepääsemättömät rakenteet, kuten kotelot, aiheuttavat ongelmia. Puhallettavan kappaleen muoto vaikuttaa myös kuulasuihkun tulokulmaan, jonka optimi on kohtisuorassa pintaan nähden. Pinnan laatu vaikuttaa puhallustulokseen epäpuhtauksien ja pinnalle mahdollisesti tehtyjen muiden käsittelyjen kautta.

Kuulapuhallettu pinta ei yleensä vaadi jälkikäsitteilyä. Ainoa huomionarvoinen tekijä on korroosion huomioon ottaminen sille herkillä materiaaleilla, sillä puhalluksen jälkeen pinta on täysin paljas. Pintojen koneistusta tulisi välttää käsittelyn jälkeen, koska sillä tuhotaan saavutettu hyöty paitsi alumiineilla, joilla kuulien tunkeuma on suurempi ja tämä antaa mahdollisuuden pinnan koneistamiseen ohuelti.

Kustannukset kuulapuhallusmenetelmälle syntyvät monen osatekijän summana. Puhallettavan kappaleen koko, muoto ja kovuus sekä puhalluksen peitto ja intensiteetti osaltaan vaikuttavat kustannuksiin. Lisäksi vaikuttavia tekijöitä ovat myös kuulamateriaali, koko ja puhallusnopeus, joka vaikuttaa ratkaisevasti kuulien hävikkiin tuhoutumisen osalta käytön aikana. Valitsemalla haluttuun intensiteettiin

ja peittoon nähden sopivat kuulat voidaan äkkiä säästää kustannuksissa. Nämä tekijät vaikuttavat suoraan työn nopeuteen ja sitä kautta tuotantotehokkuuteen ja työntekijäkustannuksiin.

4 SYYT KONEISTUSSOLUN PERUSTAMISEEN PATRIALLE /5/

Perimmäinen syy robottisolun perustamiselle on ILEF:n korjaus, mutta muutamat päätekijät puoltavat laitteiston hankintaa Patrialle sen sijaan, että korjaustyö olisi tehty alihankintana L-3 MAS:n toimesta Kanadassa. Tätä tutkintotyötä tehtäessä oli tehty jo päätös laitteiston hankinnasta. Seuraavassa on esitetty muutamia näkökohtia, joiden pohjalta tehtiin päätös robottisolun perustamisesta Patrialle.

Mikäli korjaustyö tehtäisiin L-3:n toimesta, olisi otettava huomioon ILEF:n kuljetuksesta koituvat kustannukset. Kuljetuksen osalta pitäisi tehdä suunnitelmia, mikä taho kuljetustyön tekisi ja kuinka lähetys tapahtuisi sekä minkälaisessa pakkauksessa osa olisi turvallista lähettää. Kuljetuksesta aiheutuu myös riskitekijöiden osalta tekijä, joka puoltaa korjaustyön tekemistä kotimaisin voimin. Riskejä lähettämisen osalta on monia toimituksen onnistumisesta kuljetusvaurioihin ja kuljetuspalvelun tarjoajan täsmällisyyteen. Nämä edellä mainitut asiat osaltaan vaikuttavat päätökseen suorittaa korjaustyö Patrialla.

Tuotannolliset tekijät vaikuttavat myös korjaustyön suorittajan valintaan. Mikäli työ tehtäisiin Kanadassa, olisi läpimenoajaksi muodostunut noin kolme kuukautta. Tämä olisi aiheuttanut huomattavasti enemmän suunnittelua työn aikatauluttamisessa sopivaksi Hornet-koneiden muiden huoltojen ja lennätysaikataulujen kanssa. Tämä voisi aiheuttaa riskitekijän, jonka takia kaikkiin Suomen ilmavoimien Hornet-koneisiin ei pystyttäisi tekemään tätä vaadittua korjausta sille suunnitellussa aikarajassa. Selvää on myös, että vuosittainen korjattujen kappaleiden määrä olisi L-3:lla tehtynä huomattavasti pienempi kuin Patrialla tehtynä. Perusteluna on, että Patrialla logistisen helppouden ansiosta korjaustyön on oletettu kestävän 3-4 viikkoa ILEF-paria kohden ja toteutukselle on myös löydetty sopivia rakoja Hornet-kaluston F-huoltojen yhteyteen, jolloin koneet ovat pidemmän aikaa Patrialla huollossa. Tällöin on sopiva aika korjata myös

ILEF:n saranakorvakevauriot. Kun korjaus aikataulutetaan F-huoltoihin sopivaksi, tämä tarkoittaa sitä, että kaikkien ILEF:en korjaus kestäisi maksimissaan kuusi vuotta, joka tarkoittaa noin 11 parin korjausta vuotta kohden.

Osaksi laitteiston hankintaan vaikuttaa myös tulevaisuuden näkymät sekä tietotaidon hankkiminen. Tulevaisuudessa Hornet-kaluston rakenteelliset korjaukset lisääntyvät koneiden ikääntyessä ja tämä voi tarkoittaa myös lisätöitä, jotka olisi mahdollista suorittaa automatisoituna teollisuusrobotilla. Tietenkin yksittäisiä kappaleita varten ei välttämättä ole kustannustehokasta käyttää kyseistä laitetta, mutta mikäli vastaan tulee jokin suurempi sarja korjattavia osia tai osakokonaisuuksia, on robotin käyttöä vahvasti syytä harkita.

5 ILEF-MODIFIKAATION ROBOTTISOLU

Vaikka todettiin, että on järkevämpi tehdä itse ILEF:n korjaustyö kotimaassa, täytyy laitteisto joka tapauksessa hankkia muualta. Laitteistohankinnassa itsestään selvä ratkaisu ja oikeastaan ainoa mahdollisuus on tehdä hankinta L-3 Communications-puolustusalan yritykseltä, joka tekee siis vastaavaa korjaustyötä esimerkiksi Kanadan ilmavoimien Hornet-koneille.

L-3 tarjoaa laitteistoa lisenssillä pakettina, joka sisältää kaiken, mitä tämän työn aloittaminen ja sen suorittaminen vaatii. Seuraavassa on tehty hieman listausta, mitä paketti pitää sisällään. /2/

L-3-lisenssin sisältö ILEF-modifikaatiotyölle /2/:

- 1) robotti ja ohjainlaite (esim. Motoman DX3150)
- 2) kuulapuhalluslaitteisto
- 3) koneistus- ja kuulapuhallusohjelmisto (L-3 tekijänoikeus)
- 4) tietokone laitteiston käyttöä varten
- 5) pneumaattinen työkalunvaihtaja
- 6) työkalun keskitys- ja kalibrointiyksikkö
- 7) ILEF:n jigi

- 8) laitteiston asennusapu
- 9) laitteiston käyttökoulutus sisältäen ongelmatapaukset ja niiden ratkaisun
- 10) ohjekirjat ja dokumentit
- 11) tekninen tuki laitteen käytön osalta
- 12) kulutustavarat kahden ensimmäisen ILEF:n korjaukseen

Laitteiston kehittäjänä L-3:lla on ollut tarkoitus tätä laitteistoa luodessaan päästä mahdollisimman jatkuvaan ja tarkkaan koneistusprosessiin. Tärkein asia on juuri työn tarkkuuden ja laadun optimointi, johon päästään numeerisella ohjauksella, optimoimalla kuulapuhalluksen tulokulmaa ja puhallusnopeutta sekä määrittämällä koneellisesti kappaleen ulottuvuudet ja tätä kautta koneistussyvyudet. Yhtenä etuna on myös laitteistolla saavutettava parempi luoksepäästävyys verrattuna siihen, mihin manuaalisesti voitaisiin päästä. Myös kuulapuhallusprosessin ja koneistuksen yhdistäminen samaan laitteistoon voidaan laskea eduksi, jolloin kaksi eri laitteistoa on saatu integroitua saamaan pakettiin. Prosessin johdonmukainen toiminta helpottaa myös laitteen käyttäjän ja asiantuntijan toimintaa, sillä näin mahdolliset virheet on helpompi huomata ja osataan lähteä hakemaan korjaavaa toimenpidettä suhteellisen pienestä joukosta muuttujia (vrt. kappale 3.1). Laitteistolla on itsellään myös ominaisuus laadunseurantaan, eli se seuraa jatkuvasti prosessia niin koneistuksen että kuulapuhalluksen aikana raportoiden mahdollisista virheistä. /2/

Seuraavassa käydään tarkemmin läpi L-3-lisenssillä Patrialle hankittavan koneistus- ja kuulapuhalluslaitteiston osia ja toimintaa.

Robottisolu sisältää siis teollisuusrobotin, joka on suunniteltu osien viimeistelyprosesseja varten. Yhdistettynä robotin ohjausyksikköön laitetta voidaan käyttää monissa erilaisissa tehtävissä. L-3:n puolesta laitteistoon on tehty parannuksia, jotka koskevat laitteen keskittämistä ja tätä kautta tarkkuutta. Robotin ollessa oikein optimoitu voidaan sillä päästä $\pm 0.0025''$ (~ 0.06 mm) koneistustarkkuuksiin.

Kuulapuhalluslaitteisto on täysin integroitu robottisoluun. Mitään erillisiä työkaluja ei tarvita. Työn lopputulokseen vaikuttavia arvoja kuten puhallusnopeus ja

tulokulma valvotaan ohjausjärjestelmän avulla, joka pyrkii aina maksimaaliseen intensiteettiin (vrt. kappale 3.1) ja tätä kautta parhaaseen lopputulokseen.

Työkalukiinnitys tapahtuu sähköisesti toimivan karan avulla, joka on varustettu pneumaattisella vaihtajamekanismilla. Nämä komponentit sijaitsevat robottikäden koneistuspäässä. Pneumaattinen järjestelmä mahdollistaa robotin vaihtaa työkalua osana koneistusprosessia ilman koneen käyttäjän toimia. Työkaluvaihtaja on varustettu pneumaattisella männällä, joka lukitsee työkalua pitävän lukkorenkkaan. Männän apulaitteet varmistavat, että työkalu keskittyy joka vaihtokerralla samalla, kun se lukitaan paikalleen. Sähköinen kara on myös suunniteltu mittaamaan kuormitusta sekä pyörimisnopeutta tuottaen jatkuvaa tietoa koneistusprosessista.

Laitteisto on myös varustettu tietokoneella, jonka tehtävä on hallita koko prosessia. Tietokoneelle on tallennettu ohjelmisto, josta laitteisto saa käskyt toimia tietyllä tavalla. Tässä ohessa tietokone toimii käyttöliittymänä robottisolun käyttäjälle.

Koneistuksen aikana etureunasiiveke lepää sille suunnitellussa jigissä. Jigi on suunniteltu myös turvaamaan laitteistoa sekä työn kohdetta. Koko prosessi on suoritettavissa yhdellä jigillä, joten koneistettavaa komponenttia ei tarvitse siirrellä koneistusprosessin aikana.

Työkalun keskitysyksikköä käytetään kulloinkin käytössä olevan työkalun keskipisteen täsmentämiseen. Tämä elektroninen mittalaite on 3D-mittatyöväline, joka käyttää koneistettavan kappaleen fyysisiä referenssejä määrittämään työkalun keskipisteen. Työkalun asetusprosessi suoritetaan jokaisen työkaluvaihdon yhteydessä johtuen lentokoneteollisuuden asettamista vaatimuksista koneistusprosessille. Mittauksin saatava elektroninen palaute mahdollistaa täysin automatisoidusti työstötarkkuuden ylläpitävän prosessin.

Laitteiston lisätyökaluina on kuulapuhallusprosessin kalibrointia varten digitaalinen mittalaite, jolla tarkastetaan Almen-liuskojen jälki kuulapuhallusprosessin kalibrointivaiheessa (kts. kappale 3.1). Muita mukana olevia komponentteja ovat suojus, jota käytetään kohteisiin, joita ei

kuulapuhalleta, sekä valikoima jyrsimiä, joita käytetään saranakorvakkeen koneistusvaiheessa.

Robottisolu sisältää myös nimenomaan tätä työtä varten kehitetyn ohjelmistopakettin sisältäen robotin asetukset koneistusta ja kuulapuhallusta varten. Ohjelmisto on täysin L-3:n omaisuutta koskien myös mahdolliset ohjelmistomodifikaatiot.

Tietokonetta käytetään laitteiston käyttöliittymän esittämiseen sekä työprosessin logiikan ja tietojen säilyttämiseen. Näin ollen tietokoneen avulla hallitaan käskyjä eli kontrolloidaan koneistusta sekä kuulapuhallusta, mutta myös tuodaan tietoja prosessin kulusta ja parametreista operaattorille. Ohjelmisto on kehitetty saavuttamaan tarkin mahdollinen työnjälki ja varmistamaan, että arvokkaiden lentokoneosien käsittely tapahtuu turvallisesti. Ohjelmisto rakentuu modulaarisesti, jossa tietokone toimii siis prosessista saatavien tietojen välittäjänä antaen samalla käskyjä, kuinka työn pitää edetä.

Prosessia ohjaavan ohjelmiston tärkein moduuli on Robotic process engine, joka pitää sisällään koko työn kulun logiikan ja jaksotuksen. Siitä löytyy osan ulottuvuuksien selvitysosuus sekä työkalujen keskitystoiminnot, joiden jälkeen koneenkäyttäjä pääsee käyttöliittymän kautta siirtymään seuraaviin työvaiheisiin. Prosessi on ohjelmiston avulla pyritty saamaan mahdollisimman automatisoiduksi, joka jättää konekäyttäjälle lähinnä valvojan roolin. Tosin operaattorilla on mahdollisuus ohittaa tietokonejärjestelmä ja vaikuttaa manuaalisesti prosessiin, mutta tähän ei laitteiston kehittäjien mukaan pitäisi olla juurikaan tarvetta.

II SELVITYSOSUUS

6 RESURSSIEN MÄÄRITYS

Tässä kappaleessa käsitellään ILEF:n modifikaatiotyön suorittamiseksi vaadittavia resursseja sekä koulutusnäkökohtien että tuotannollisten näkökohtien kautta.

Resurssien osalta tärkeimmiksi asioiksi nousevat määrä ja asetetut vaatimukset työn suorittajan tietotaidon osalta. Laitteiston toimittajan roolissa L-3 on sanellut vaatimuksia ja taitoja, joita käytöstä vastaavan henkilön olisi hyvä osata. Näistä tärkeimpänä on mainittu, että koneen käyttäjällä olisi oltava taustatiedot kunnossa ohjelmoinnin saralta ja varmasti myös numeerisesti ohjattujen koneistuslaitteiden osalta. Tämä on ehkäpä suurin tekijä valittaessa työlle sopivaa henkilöä. /2/

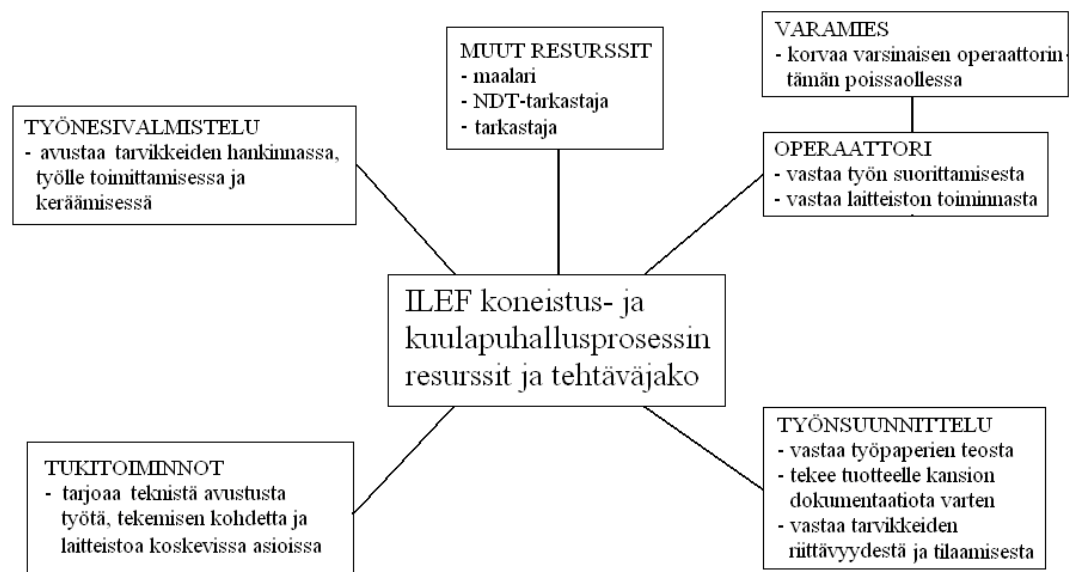
Tuotannollisesti katsottuna tärkeänä tekijänä on työn jatkuvuus eli tästä johtuen laitteiston pääkäyttäjälle on voitava osoittaa varamies, joka tarpeen tullen pystyy työtehtäviä hoitamaan. Näin ollen voidaan todeta, että kokonaisuudessaan työ vaatisi kahden työntekijän huomion ja ajan. Tosin vaikka työ on jatkuvaa, se on kuitenkin satunnaista. Johtuen vuosittaisen työmäärän suhteellisen pienestä määrästä ja nopeasta läpimenoajasta ei työn osalta ole tarjota jatkuvasti tehtävää operaattorille. Niinpä hänelle on voitava tämän lisäksi osoittaa myös muita tehtäviä. Työssä tehdään myös maalaustöitä sekä NDT-tarkastuksia, joita varten on varattava oma tekijänsä ja aikansa. Käytännössä nämä kaksi työtä vievät suhteellisen pienen ajan ja työn voi tehdä aina sillä hetkellä vähiten kuormitettu maalaaja ja NDT-tarkastaja. Muun tarkastustyön osalta työlle riittää yksi tarkastaja, joka tarkastaa ja kuittaa työvaiheet ja lopulta koko työn tehdyksi.

Toimihenkilöiden resursointia tämän työn piirissä voidaan pohtia tuotannolliselta sekä tukitoimintojen alueilta. Tuotannon kannalta työlle pitää löytyä tekijä, joka pitää työllä tarvittavat paperiasiat järjestyksessä. Tarvittavia dokumentteja ovat esimerkiksi korjattavan tuotteen kansio, johon kerätään tarvittavat asiapaperit korjauksesta. Myös työn tekemiseen vaadittavat dokumentit kuten työpaperit tulisi tehdä valmiiksi työntekijälle. Samoin kuittaukset laitteen korjauksesta tulisi

suorittaa Ilmavoimien tietokantajärjestelmään (LTJ). Työn valmistuttua on vielä tehtävä tuotteen myyntiä varten asiakirjat, jotta tuote voidaan myydä asiakkaan edustajalle tarkastuksen jälkeen. Jotta tuotanto pysyy jatkuvana ja käynnissä, on varmistettava, että kaikki tarvittavat tarvikkeet, laitteet ja työkalut työn suorittamista varten ovat ajan tasalla. Kaikkiin edellä mainittuihin tehtäviin pitäisi varata ainakin yhden henkilön resurssi; mahdollisesti tarvikkeiden kanssa voisi olla avustamassa yksi henkilö. Resurssi tulisi löytyä joko työnsuunnittelun edustajasta tai mahdollisesti tarkastajien joukosta. Mikäli tarvetta on, niin avustavana tahona tarvikkeiden kanssa toimii luonnollisesti työnesivalmistelu.

Työn osalta on myös huomioitava operaattorille työstä, laitteistosta ja muutoin prosessiin liittyvistä asioista syntyvät kysymykset, joihin vastausten saanti edistää tuotannon jatkuvuutta ja kehitystä. Tämän vuoksi työlle pitää varata myös teknisen asiantuntijan rooliin henkilöresurssi, joka pystyy vastaamaan ja selvittämään vastaantuleviin ongelmiin ja kysymyksiin. Tämän henkilön tehtävänä olisi myös olla yhteyshenkilönä laitteiston toimittajaan, jonka kautta saadaan tarkempaa tietoa ongelmatilanteissa niin laitteistosta, ohjelmistosta kuin muistakin ILEF-työhön liittyvistä kysymyksistä.

Seuraava kuva 12 esittää vielä pelkistetyssä muodossa prosessin vaatimat resurssit ja niiden tehtävät.



Kuva 12 ILEF-prosessin tehtäväjako

7 LAITTEISTON KÄYTTÖKOULUTUS JA TYÖHÖN PEREHDYTYS

Tämän työn osalta käyttökoulutus- ja perehdytysosuudet täytyy jakaa kahteen osioon eli kuulapuhallus- ja koneistuslaitteiston toimittajan osuuteen ja Patrian omaan osuuteen. Laitteiston toimittaja L-3 on laatinut kurssin, jonka pohjalta laitteiston pääkäyttäjä sekä asiantuntijahenkilö koulutetaan toimimaan laitteiston ja työn parissa. Loppuvastuu koulutuksesta esimerkiksi mahdollisen varakäyttäjän ja muiden henkilöiden osalta on Patrialla.

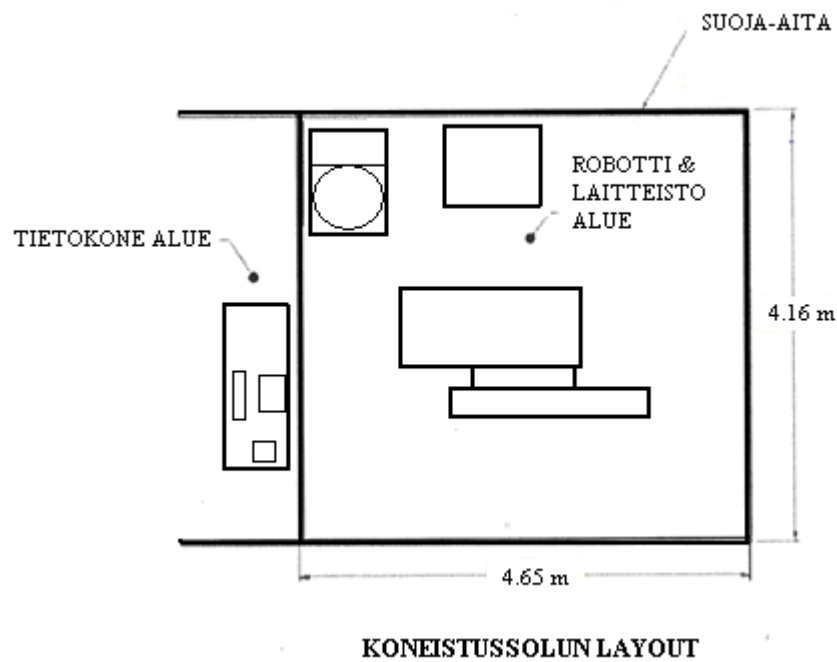
Laitteiston koulutustilaisuus järjestetään L-3 MAS-tiloissa Kanadassa. Koulutus on kestoltaan 10 päivää, joiden aikana koulutettavat ohjeistetaan laitteiston käyttöön ja huoltoon sekä vikatilanteisiin. Koulutus on jaettu kahteen vaiheeseen, joista ensimmäisessä selvitetään koneen ja ohjelmiston käyttöä teoriassa sekä opastetaan huoltotoimenpiteisiin. Toinen vaihe koostuu käytännön harjoittelusta L-3-tuotantolinjalla. Käytännön työn tehtävänä on opastaa tulevaa käyttäjää kädestä pitäen laitteiston ja prosessin eri osien toiminnan hallitsemiseen. Tällöin käydään läpi ohjelmiston käyttö, robotin toiminta ja käyttö, laitteiston huolto sekä mittauskäden käyttö. Tämän koulutuksen pohjalta pitäisi olla mahdollista ryhtyä käyttämään ja suorittamaan ILEF-modifikaatiotyötä omin voimin. Toki L-3 tarjoaa asiantuntija-apua ongelmatilanteissa, ja kuten aiemmin on todettu, se auttaa paikan päällä Patrian tiloissa laitteiston asennusvaiheessa sekä ensimmäisten töiden suorittamisessa. /2/

Patrian vastuulle koulutusosuudessa jää varahenkilöiden työhön tutustuttaminen, joka tapahtuu käytännöntyön merkeissä. Opastajana toimii laitteiston pääkäyttäjä sekä teknisen tuen henkilö, joka on myös saanut koulutuksen koneen käytön osalta.

8 LAITTEISTON SJOITTAMINEN PATRIAN TILOIHIN

Tässä kappaleessa käydään läpi laitteiston mahdolliset sijoituskohteet sekä laaditaan pohjapiirustukset kaikkiin näihin kohteisiin ja pohditaan tilojen etuja ja haittoja.

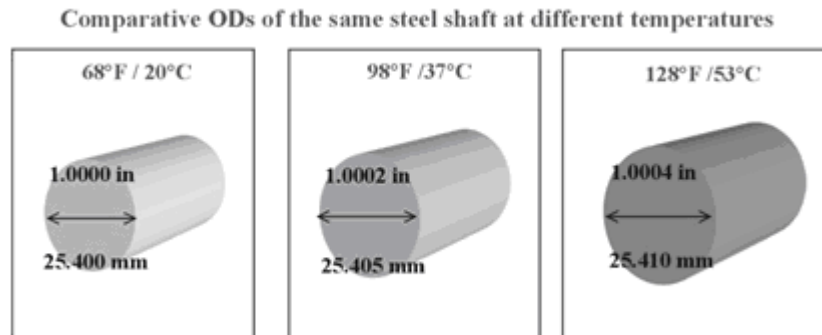
Robottisolun sijoituskysymykseen on esitetty eri vaihtoehtoja ja on päädytty kolmeen tilaan, joihin laitteisto olisi mahdollista sijoittaa. Nämä vaihtoehdot rakentuvat pohjaratkaisuiltaan hyvin erilaisiksi ja sisältävät myös muuta laitteistoa kuin robottisolun, joten pohjaratkaisuissa on otettava huomioon laitteiston sijoitus muiden koneiden suhteen. Seuraavassa kuvassa 13 nähdään robottisolun tilavaatimus, josta on lähdettävä liikkeelle sopivaa tilaa valittaessa.



Kuva 13 ILEF-robottisolun mitat ja asettelu

L-3 on asettanut omat vaatimuksensa, millaisessa ympäristössä laitteistoa tulee käyttää. Heidän mukaansa tila voi olla lentokonehalli tai vastaava, eikä laite tarvitse erillisen perustuksen valmistamista. Kuten kuvasta 13 nähdään, solu pitää olla eristetty muusta ympäristöstä suoja-aidoin. Operaattorin työpisteen pitää olla suoja-aitojen ulkopuolella, mutta siitä täytyy olla esteetön näkymä työlle. Patria on vastuussa määräysten mukaisten suoja-aitojen hankinnasta ja asennuksesta. L-3 painottaa myös lämpötilan vaihtelun minimoimista, sillä tällainen koneistustyö on hyvin herkkä lämpötilan muutoksille. Koneistustyölle on määritelty ISO 1 standardin mukainen vakiolämpötila, joka on 20 °C. Kuvassa 14 on esitetty esimerkki materiaalin lämpölaajenemisesta ympäristön lämpötilan vaikutuksesta. Tämä esimerkki kuvaa terästangon muodonmuutoksia, mutta on huomattava, että alumiinin lämpölaajenemiskerroin on terästä suurempi. Koska lämpötila on selvästi

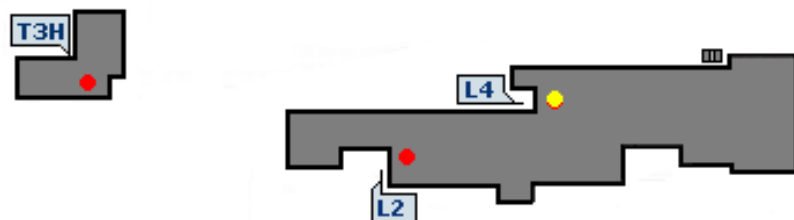
riskitekijä, on välttämätöntä tehdä tilaratkaisu oikein. Tällöin välttyään tarkan koneistustyön epäonnistumiselta.



Kuva 14 Ympäristön lämpötilan vaikutus materiaalin lämpölaajenemiseen /10/

On tärkeää selvittää myös, mitä muita vaatimuksia kuin tarvittavan pinta-alan tällainen laitteisto vaatii tilan suhteen. Eräitä tekijöitä ovat esimerkiksi valaistuksen riittävyys, virransaanti, ilmanvaihto ja - puhdistus, tietokoneverkko ja luoksepäästävyys.

Kuvassa 15 on esitetty laitteiston loppusijoituskohteina erillinen rakennus T3H, jossa on kaksi varteenotettavaa tilaehdokasta sekä L2, joka tarkoittaa rakennekorjausosaston tiloja. Kuvassa on myös merkattu HN-huolto L4 sen vuoksi, että tyypillisesti ILEF:t tulevat korjaukseen tältä puolelta F-huollossa olevasta koneesta.

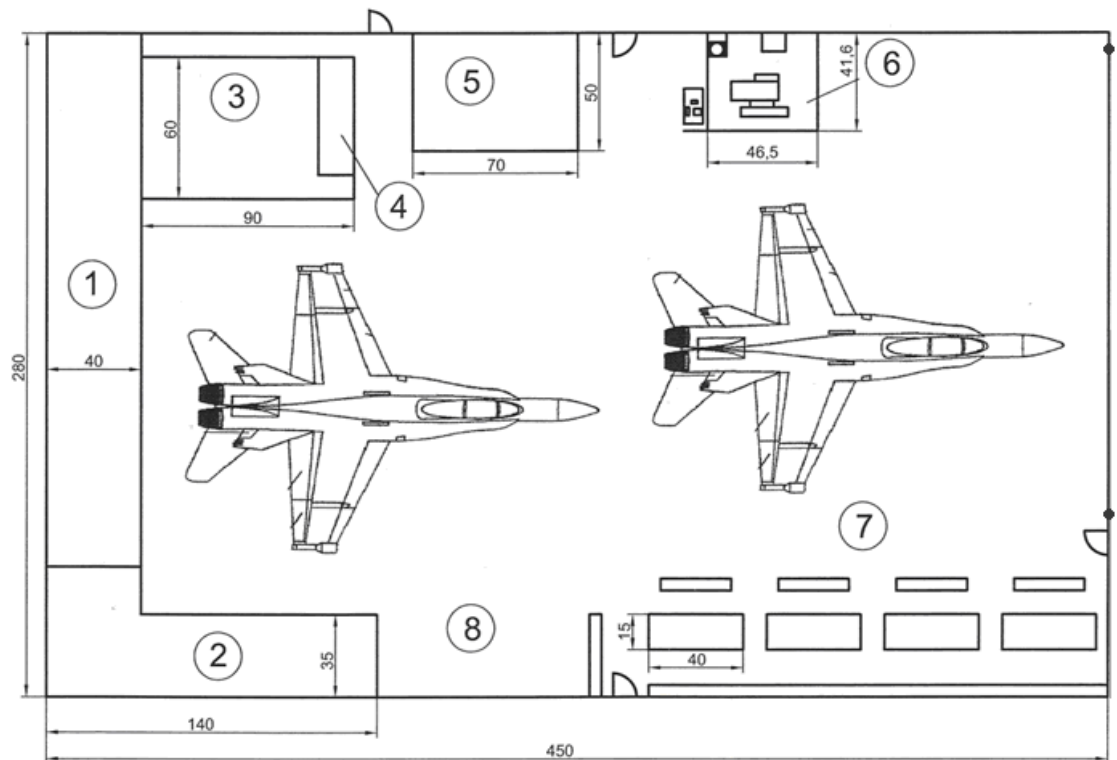


Kuva 15 Mahdollisen korjauspaikan sijoittuminen tehdasympäristössä

Tältä pohjalta voidaan päätellä, että ainakaan suurempaa logistista ongelmaa siivekkeiden kuljetuksesta korjaukseen ei tule olemaan, sillä siirtoetäisyydet ovat laskettavissa muutamissa kymmenissä metreissä. Näin ollen osien siirtelyn kannalta ei ole merkitystä, sijoitetaanko laitteisto rakennekorjauksen tiloihin vai T3H:lle. Kuljetusta varten osille on olemassa omat laatikkonsa, joissa myös säilytys onnistuu tosin säältä suojassa. Varastoinnin osalta ei pitäisi olla suuria ongelmia, sillä työ etenee siten, että siivekepari tulee työlle ja korjaustyö suoritetaan, jonka jälkeen osat palautetaan takaisin koneelle, jolloin erillinen varastointivaihe jää pois.

8.1 Tilavaihtoehto 1

Ensimmäisenä vaihtoehtoista tarkastelemme L2-rakennekorjaamon tarjoamia mahdollisuuksia sijoittaa laitteisto sinne. Kuvassa 16 näkyy osaston nykyisen tuotantotilanteen mukaan laadittu pohjaratkaisu, joka sisältää myös ILEF-robottisolun (taulukko 1).



Kuva 16 Pohjaratkaisu laitteiston sijoittamisesta rakennekorjaamolle (kuvasuhde 1:100)

Taulukko 1 Rakennekorjaamon tilat ja työt

Pos.	Kuvaus
1	Osastonjohtaja ja työnsuunnittelun tilat
2	Koneistustilat
3	Taukotilat
4	L2 pateri
5	Työnjohtaja ja työnesivalmistelu
6	ILEF modifikaatio
7	TEF ja Aileron modifikaatio
8	HW korkeusperäsin modifikaatio

Tila on mitoitettu tällä hetkellä maksimissaan kahdelle Hornet koneelle sekä muutamalle pidempiaikaiselle modifikaatiotyölle. Mutta kuten pohjapiirustus osoittaa, jää hallin pääovelta sisälle päin katsottuna oikeaan reunaan tilaa robottisolulle ja myös hieman varastointitilaa, jota muut työt mahdollisesti vaativat.

Seuraavassa pohditaan tilan hyödyllisyyttä edellä mainittujen tekijöiden pohjalta sekä muutaman tulevaisuuden tekijän kannalta. Ensinnäkin valaistuksen kannalta paikka on varsin hyvä johtuen tehokkaista kattovaloista, jotka löytyvät hallin katosta, joten lisävalaistusta tuskin tässä tapauksessa tarvittaisiin. Kohdevalaistus on puute, mikäli vastaan tulee tarkkoja kohtia, mutta oletettavasti näistä tarkastuksista selvittää käsivalaisimella. Virransaannin kannalta piirustuksessa määritelty sijoitus on sopiva, sillä aivan välioven vieressä sijaitsee pistokkeet niin voimavirralle kuin normaalille käyttövirralle valmiina. Eli sähköitä ei juuri tarvitsisi tehdä. Ilmanvaihdon kannalta L2 on myös hyvä vaihtoehto, sillä normaali ilmanvaihto on luonnollisesti kunnossa. Koska työ sisältää kuulapuhallusosuuden, olisi jonkinlainen kohdepoistoimuri lisättävä tällekin työmaalle. Sen asennus tuskin olisi kovin työläs tehtävä ja poistoilmalle liitäntä on periaatteessa jo valmiina. Tietokoneverkon asennus olisi varmaan työläin tehtävä tämän tilan osalta. Verkkojohdot pitää vetää kytkenäkaapilta (vrt. kuva 16) hallin toisesta päästä kohteeseen. Tämä johdotustyö voi tuottaa hieman enemmän työtä. Etuna L2:ssa on myös, että Ilmavoimien tietokantajärjestelmä LTJ löytyy samasta tilasta, joten sen vaatimaa verkkoyhteyttä ja laitteistoa ei ole tarvis hankkia eikä asentaa. Mikäli laitteisto olisi L2-osastolla, se tarkoittaisi sitä, että tekninen tuki ja työn suunnittelu olisivat lähempänä työtaphtumia, koska kaikki toiminnot olisivat tällöin samassa päärakennuksessa.

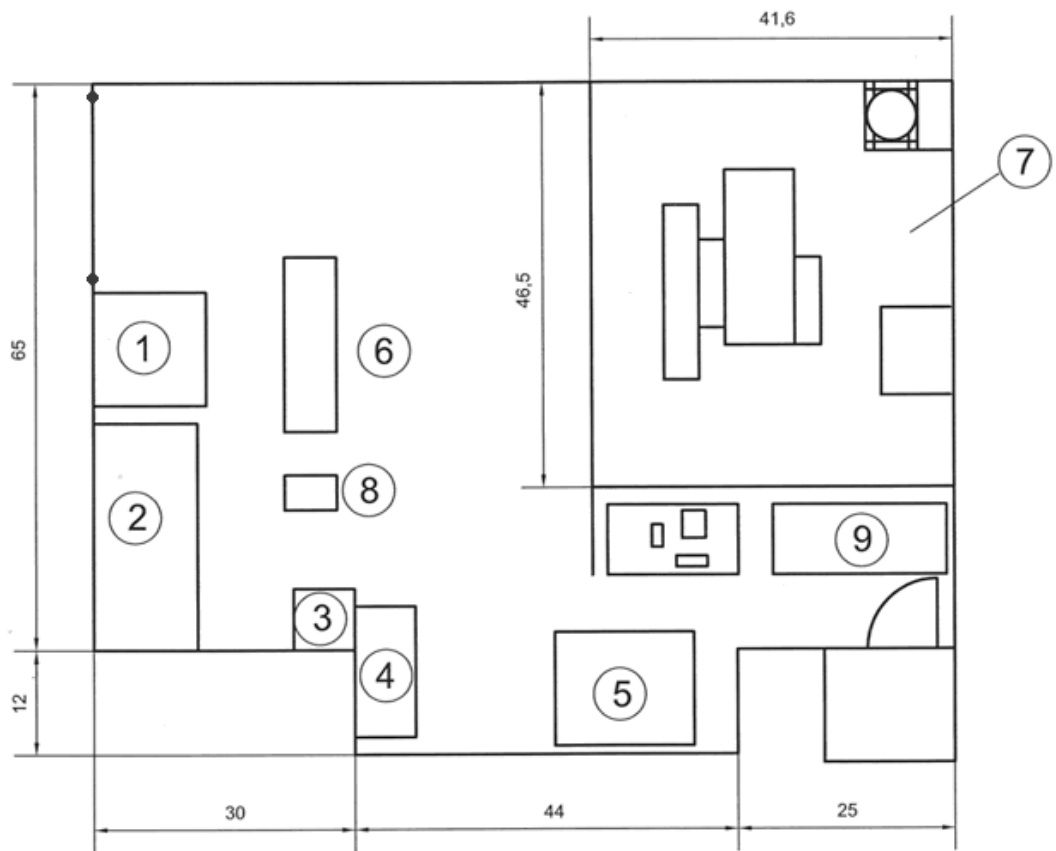
Positiivinen asia on myös rakennekorjaamon tiloissa oleva hallinosturi, jolla osien siirtely onnistuu mukavammin, koska muutoin siiveke tarvitsee siirtelyyn kaksi miestä painonsa vuoksi. Näin ollen nosturin avulla siiveke on helpompi asettaa jigiin työn ajaksi.

Edellä mainitut tekijät osaltaan puoltavat laitteiston sijoittamista rakennekorjaamolle, mutta tällä kohteella on myös muutamia heikkouksia. Erääksi ongelmaksi voi muodostua ahtaus, kun hallin tuotanto on suurella teholla. Se tarkoittaa, että sisällä on samaan aikaan kaksi Hornet-konetta. Muut linjat toimivat maksimaalisesti. Tällöin sisällä olevat varastopaikat ovat täynnä ja etummainen huoltokone peittää kulkuväylää, jolloin etureunasiivekettä ei saada ohjattua soluun sujuvasti. Tähän apukeinona olisi sijoittaa robottisolun lähemmäs pääoviaukkoa, mutta johtuen talvella nosto-oven kautta tulevasta vedosta ja kylmästä ilmasta voi koneistustapahtuman tarkkuus ja sitä kautta lopputulos kärsiä. Tästä johtuen olisi mahdollisesti järkevämpää sijoittaa koneistuslaitteisto muualle ja säästää yli jäävä tila tulevien ja jo meneillään olevien korjaustehtävien varastotilaksi. On myös huomioitava, että koneistus- ja varsinkin kuulapuhalluspölyn poisto olisi erittäin tärkeää suorittaa täydellisesti rakennekorjaamolla. Tämä juontaa juuresta siitä, että kaikki huoltokoneet ovat lentäviä laitteita, joita koskevat tiukat säädökset myös ympäröivän tilan puhtauden suhteen. Näin ollen vähennettäisiin myös tätä riskiä sijoittamalla tämä korjaustoiminta muihin tiloihin.

8.2 Tilavaihtoehto 2

Vaihtoehtona ovat siis myös T3H-rakennuksen tilat, joista toinen näkyy kuvassa 17. Tila on ollut pienlaitemaalaamona, joten se on myös käyttötarkoitusta vastaavassa kunnossa. Kuten kuvasta 17 nähdään, voisi tähän tilaan sijoittaa enemmän koneistuslaitteistoa, jolloin koneistus voitaisiin keskittää toimimaan tietystä paikasta (taulukko 2). Palatakseni vielä rakennekorjaamon tiloihin voisi siellä olevat työstökoneet siirtää T3H:lle, jolloin rakennekorjaamolle saadaan lisää tilaa tuotannolle ja sen tarvitsemille toiminnoille. Nämä mainitut ratkaisut sekä ILEF-robottisolun yhdessä vaativat vanhan maalaamon radikaalia kunnostamista. Tila sopisi koneistamoksi siinäkin mielessä, että sinne ei ole käyntiä ulkokautta,

jolloin viileä ilma ei pääse vaikuttamaan koneistusprosessiin. Seuraavassa on pohdittu, mitä tilalle tulisi tehdä, jotta siitä saataisiin edellä mainitulle toiminnalle sopiva kohde. Tila ei sisällä minkäänlaista nostolaitetta, jolloin siivekkeen jigiin asettelu on tehtävä käsin. Vaikuttaa siltä, että tämän tilan rakenteet eivät ole tarpeeksi vahvoja kattonosturin hankkimiseen eikä tila ole sille riittävän iso, mutta eräs mahdollisuus olisi lattiaan kiinnitettävä nosturi, jonka hankkimista kannattaa harkita.



Kuva 17 Vanhan maalaamon tilat mahdollistavat koneistustilan perustamisen (kuvasuhde 1:100)

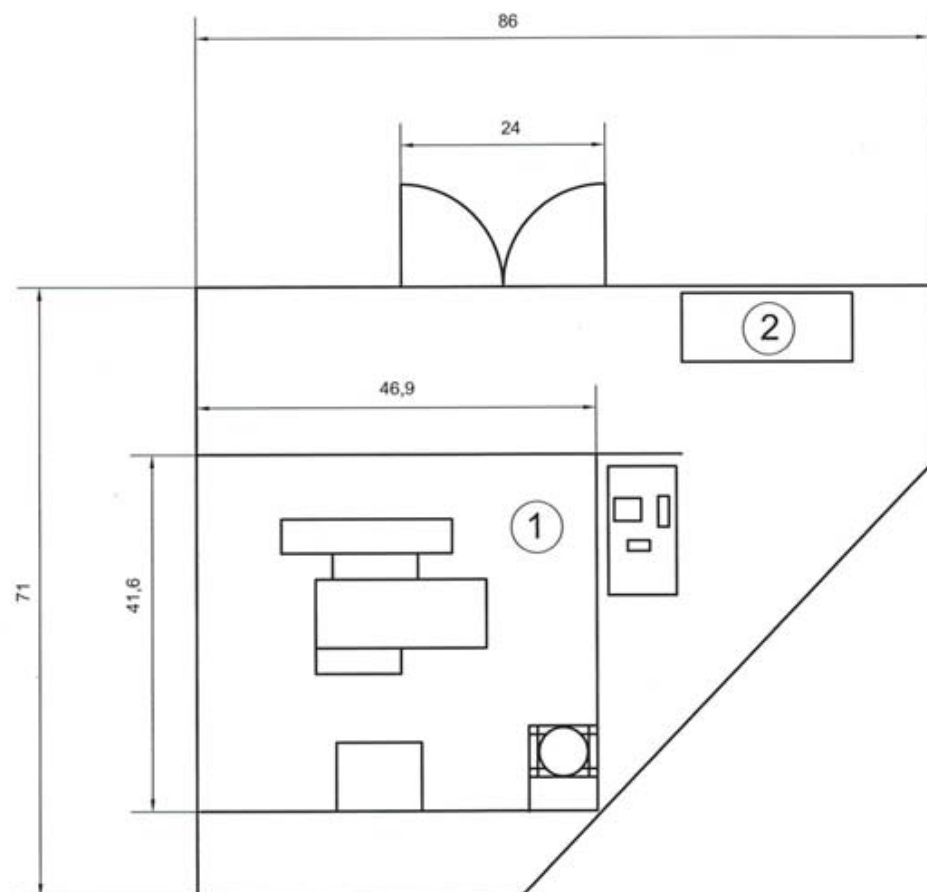
Taulukko 2 Kuvan 20 tilaan suunnitellut laitteet

Pos.	Kuvaus
1	Jyrsin
2	Sorvi
3	Työkalulaatikosto
4	Työpöytä
5	Tasohiomakone
6	Raaka-aine hyllykkö
7	ILEF modifikaatio
8	Pylväsporakone
9	Tarvikekaappi

Ensinnäkin kyseiselle tilalle on tehtävä pintaremontti ja lattian oikaisu, sillä lattia on halkeillut monesta kohtaa. Tällä taataan, että koneistuslaitteet ovat suorassa tukipinnalla, jonka kautta myös mittatarkkuudet ovat kunnossa. Tämän jälkeen päästään valaistusasiaan, joka vaatii huomattavia parannuksia. Käytännössä nykyinen valaistus pitäisi korvata uusilla valaisimilla ja kohdevaloilla. Nyt paikallaan ovat likaiset ja heikkotehoiset loisteputket. Tekemistä olisi myös sähköistyksen kanssa, sillä suunnitelman mukaan työpisteitä tulisi olemaan aika monta ja jokaiselle olisi saatava sekä voimavirtaa että normaalia verkkovirtaa. Tällä hetkellä ILEF-laitteistolle olisi saatavissa virtaa, mikäli se sijoitetaan piirustuksen osoittamalle paikalle. Ilmastoinnin osalta tila on varustettava kohdepoistoimurein. Varsinkin sorvin ja robottisolun ympäristön ilman puhdistus pitäisi pystyä hoitamaan, sillä ilmassa voi työn aikana olla runsaasti kuulapuhalluspölyä ja koneistuksesta aiheutuvia hiukkasia. Myös tähän tilaan joutuu vetämään tietokoneverkkoa varten johdot, mutta haaroitus varmaankin onnistuu jostain tietoverkoston päälinjasta. Siivekkeiden LTJ-töiden kuittausta varten ei ole omaa konetta, mutta T3H:lta kyseinen laite kyllä löytyy. Tosin asiassa voidaan menetellä siten, että työnsuunnittelu hoitaa LTJ-tehtävät ja tulosteet valmiiksi ennen työn aloitusta ja toimittaa paperit työlle. Osien työlle toimituksen osalta huollon ja työpisteen välillä ei luultavasti ole ongelmia, mutta tila on sen verran pieni, että osien pitkäaikainen varastointi ei ole mahdollista.

8.3 Tilavaihtoehto 3

Vielä kolmantena vaihtoehtona T3H-rakennuksen puolelta löytyy yksi huone, joka on nykyään ollut hiekkapuhallushuoneena. Kuvassa 18 nähdään kyseisen tilan pohjapiirustus ja yksi mahdollisuus, kuinka laitteiston voisi sijoittaa (taulukko 3). Maininnan arvoista on, että tämä tila voitaisiin varata kokonaisuudessaan ILEF työlle, jolloin laitteiston asettelussa ei tarvitse ottaa huomioon muita laitteita. Myöskään suuria lämpötilan vaihteluita ei tule olemaan, sillä kuvassakin näkyvät pariovet ovat auki vain silloin, kun siivekkeitä tuodaan sisälle. Muutoin käynti tähän tilaan voidaan sopia tehtävän rakennuksen sisäkautta.



Kuva 18 Tämä tila voidaan varata kokonaisuudessaan ILEF-modifikaatioon (kuvasuhde 1:100)

Taulukko 3 T3H:n toisen tilan sisustus

Pos.	Kuvaus
1	ILEF-modifikaatio
2	Tarvikekaappi

Valaistuksen osalta tämä tila on vaihtoehtoista heikoin. Tilassa ei ole ikkunoita, joten koko valaistus on hoidettava keinovaloin. Kuten edellisessä vaihtoehdossa, myös tässä tapauksessa valot ovat vanhat ja likaantuneet sekä muutenkin heikkotehoiset. Sähköjen vetäminen tähän tilaan ei ole välttämätöntä, sillä tilan nykyisiä pistokepaikkoja voidaan hyödyntää. Ilmanvaihdon osalta tämäkin tilavaihtoehto vaatii parannuksia ja onkin tutkittava millainen ilmanvaihto tilassa tällä hetkellä on. Kohdepoistoimuri on varmasti hankittava myös tämän vaihtoehdon osalta juuri kuulapuhallustyötä silmällä pitäen. Tietokoneelle ei ole yhdistetty verkkoa tässä tilassa ja myöskään LTJ-päätettä ei ole, mutta tässäkin tapauksessa varmasti voidaan käyttää muita T3H:n LTJ päätteitä tai hoitaa paperiasiat ennakolta työsuunnittelun toimesta. Siivekkeiden kuljetuksen ja välivarastoinnin kannalta tämä tila on vaihtoehtoista käytännöllisin, sillä siivekkeiden kuljetuslaatikot eivät ole muiden töiden esteenä. Tila on myös hyvä vaihtoehto sen vuoksi, että sinne suora käynti ulkoa pariovien kautta, jolloin siivekkeitä ei tarvitse kuljetella ahtaita käytäviä pitkin sisätiloissa.

8.4 Solun asennustyöt

Tilavaihtoehtoissa on myös muuta tekemistä kuin edellisessä luvussa mainittujen välttämättömien toimien suorittaminen. Kaikissa tiloissa on tällä hetkellä muuta laitteistoa, jotka on saatava poistetuksi robottisolun tieltä. Käytännössä selvintä on, kun käyttötarkoitukseen valitusta tilasta saisi mahdollisimman tyhjän, jotta varustelu päästään aloittamaan puhtaalta pöydältä.

Muutoin solun asennus tapahtuu L-3:n avustuksella kuten todettua, mutta pääosin Patrian vastuulla ja resursseilla. Laitteisto tulee yhdellä toimituksella useaan moduuliin palasteltuna. Asennustyö tehdään L-3:n laatiman ohjeistuksen ja dokumentaation mukaan. L-3 lähettää avuksi yhden asiantuntijan, jonka on määrä

avustaa laitteiston asennustyössä sekä suorittaa kalibrointityöt ennen ensimmäisen yksilön työstämistä. Muilta osin solun laitteiden asennuksesta saati asennusvaiheista ei ole vielä tarkempia tietoja. Nämä tiedot tarkentuvat ohjeistuksen valmistuttua ja saavuttua ostajalle (Patria).

8.5 Layoutin valinta

Tällä hetkellä edellä mainitut kolme kohdetta ovat vahvimpia vaihtoehtoja ja tarjoavat eniten vapaata tilaa robottisolun sijoituspaikaksi. Tietenkin on mahdollista, että löytyy vielä parempi vaihtoehto, mutta se vaatisi mahdollisesti suurempia tilojen järjestelyjä. Seuraavassa on pohdittu, mikä näistä tiloista voisi olla ensisijainen sijoituskohde robottisolulle edellä tehtyjen tarkastelujen pohjalta. Päällimmäisinä kriteereinä sijoituspaikan valinnalle voisi olla seuraavat kolme pääasiaa: tämän hetkinen valmiusaste robottisolun sijoitukseen, tilan valmisteluista aiheutuvat kustannukset sekä yleensä tilojen mielekkyys tällaisen laitteiston sijoittamiseen ja tiloissa työskentelyyn.

Mikäli rakennekorjaamo valittaisiin laitteiston sijoituspaikaksi, päästäisiin pienimmällä työllä viitaten edellä tarkasteltuihin asioihin valaistuksesta lähtien. Siellä työlle olennaiset komponentit ovat olemassa. Vain hieman muutostöitä jouduttaisiin tekemään. Kustannuksia tulisi lähinnä eri verkostojen vedosta eikä suuria menoeriä esimerkiksi ilmastointilaitteiston osalta tulisi muuta kuin kohdepoistoon vaadittavat tarvikkeet. Rakennekorjaamo on myös edullinen vaihtoehto sijainnin suhteen, sillä lähellä ovat niin huolto, josta yksilöt tulevat työlle, työnsuunnittelu sekä suunnittelu ja teknisen tuen apu. Ongelmia eteen tuovat tilojen ahtaus sekä tulevaisuuden suunnitelmat, jotka määrittelevät rakennekorjaamon kuormituksen ja sitä kautta myös tiloissa mahdollisesti tehtävät muutokset. Lähinnä tuon edellisen lauseen loppu puoltaa robottisolun sijoittamista muualle. Työn kannalta olisi edullista, jos laitteistoa ei tarvitsisi siirtää paikasta toiseen vaan koko ILEF-modifikaatio, mukaan lukien kaikki yksilöt, voitaisiin suorittaa samassa paikassa. Kuten aiemmin on todettu, modifikaatio kestää 3-6 vuotta ja tällä ajanjaksolla rakennekorjaamon kuormitus ja tilantarve tulee luonnollisesti vaihtelevaan.

Vanhan maalaamotilan kanssa on hieman enemmän tekemistä, jotta siitä saataisiin työskentelykelpoinen, sillä jo yleiskunnoltaan tämä tila on vaihtoehtoista huonoimmassa kunnossa. Kappaleessa 8.2 on käyty läpi välttämättömät parannuskohteet ja tältä osalta syntyy myös kustannuksia. Parannusehdotusten ohella tehtävänä on vielä hieman purkutyötä vanhojen laitteiden poistamiseksi. Tilan mielekkyydestä tähän käyttöön voidaan olla montaa mieltä. Kuvan 17 pohjapiirustuksen mukaan tila tulisi suhteellisen ahtaaksi, kun sinne sijoitetaan paljon muutakin laitteistoa. Tällöin siivekkeen siirtely tilassa on aika vaivalloista eikä varastointimahdollisuutta liiemmin ole. Toki on mahdollista, että muiden laitteiden määrässä tingitään ja jätetään robottisolulle suurempi tila, jolloin sen voisi sijoittaa huomattavasti väljemmin kuin kuvassa 17 esitetään.

Kuvan 18 tilavaihtoehdon 3 osalta tilanne ei ole aivan niin keho, sillä paikat ovat huomattavasti siistimmät kuin edellä mainitussa kohteessa. Mahdollisesti pientä pintaremonttia myös tämä tila vaatisi, ja muutoin suurimmat kustannukset tulisivat kappaleessa 8.3 esitetyistä verkostojen vedoista sekä muutamista laitteistohankinnoista. Tilasta joudutaan poistamaan myös suuri määrä koneita, joiden uusi sijoituspaikka ei ole selvillä. Huonona puolena on myös laitteiston asetusmahdollisuuksien vähyys. Kuvassa 18 on esitetty yksi vaihtoehto, mutta mahdollista on myös kääntää solun pidempi kylki seinän viereen. Tilaa varastointiin ei tässäkään tapauksessa ole liikaa, mutta kuitenkin enemmän ja järkevämmiin kuin tilavaihtoehdon 2 kohdalla. Työskentelyn kannalta tila on pieni ja pimeä ikkunoiden puuttuessa, mutta työtunteja siellä tuskin kertyy suuria määriä vuodessa, joten tässäkin suhteessa tila kelvanee.

Näiden pohdintojen jälkeen voidaan todeta, että rakennekorjaamo (kappale 8.1) on selvästi paras vaihtoehto robottisolun sijoituspaikaksi. Tätä puoltaa myös valmistaja (L-3) itse, jonka oma laitteisto sijaitsee nimenomaan tällaisen tehdashallin yhteydessä. Johtuen rakennekorjaamon auki olevasta tulevaisuudesta tuotannon osalta ei siis vielä tiedetä, paljonko tilaa varastoinnille ja muille korjattaville tuotteille tarvitaan. Koska laitteisto voidaan sijoittaa myös muunlaisiin tiloihin, näyttäisi siltä, että tilavaihtoehto 3 (kappale 8.3) olisi yleiskunnoltaan ja käytännöllisyydeltään aavistuksen kuvan 17 tilaa (kappale 8.2) parempi ja näin

paras vaihtoehto robottisolulle. Taulukossa 4 esitellään edellä pohdittua asiaa sijoituskohteen valinnasta.

Taulukko 4 Tilavaihtoehtojen ominaisuuksien tarkastelua

Valintakriteeri	Tilavaihtoehto 1	Tilavaihtoehto 2	Tilavaihtoehto 3
Lämpötila- ja kosteustekijä:	Tyydyttävä	Hyvä	Hyvä
Valaistus:	Hyvä	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Virransaanti:	Hyvä	Tyydyttävä	Hyvä
Ilmanvaihto:	Hyvä	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Tietokoneverkko:	Tyydyttävä	Heikko	Heikko
Luoksepäästävyys:	Erinomainen	Hyvä	Erinomainen
Yhteensä:	Hyvä	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Valmiusaste:	Hyvä	Tyydyttävä	Tyydyttävä
Kustannukset:	Hyvä	Valttava	Tyydyttävä
Viihtyisyys:	Hyvä	Tyydyttävä	Valttava
Yhteensä:	Hyvä	Tyydyttävä	Tyydyttävä



9 PROSESSIN KUVAUS

Tässä kappaleessa käydään läpi etureunasiivekkeen koneistusprosessin kulku sekä siihen liittyvät muut tuotannolliset toimet. Lopuksi esitellään myös aikataulus, jonka mukaan robottisolun toimintaa käynnistetään. Tuotannon osuus koostuu itse työstä, mutta myös työn valmisteluun ja ylläpitoon liittyvistä asioista. Tässä osiossa pyritään määrittelemään tärkeimpiä asioita myös edellä mainittujen tukitoimien osalta.

9.1 Tarvittava dokumentointi

Lentokoneteollisuudessa työn dokumentointi on kaiken pohjana, koska pitää olla olemassa tarkat todisteet työn suorituksesta, tarkastuksista ja laadun seurannasta. Nämä kaikki asiat ovat lentokoneteollisuudessa erittäin tärkeitä, koska pelissä ovat kuitenkin huomattavat rahasummat sekä ihmishenget.

Kuten kappaleessa 6 todettiin, tulee työn dokumentoinnin osuus ohjata suuremmaksi osaksi työnsuunnittelun vastuulle, mutta myös tarkastajilla on oma osansa dokumentoinnissa. Tämän työn osalta dokumentaatio pohjautuu jokaiselle modifikaatioon tulevalle yksilölle tehtävään kansioon, josta käyvät ilmi yksilön tiedot ja sille tehtävät toimenpiteet vaiheittain sekä muita tuotannollisia ja kaupallisia tietoja. Seuraavassa selvitetään hieman tarkemmin niin sanotun huoltokansion sisältö.

Huoltokansiossa on käytetty hierarkkista rakennetta, joka tässä tapauksessa tarkoittaa sitä, että pystytään tarkkailemaan työn suorittamista ja valmistumista kansioon tehtävien tarkastajan merkintöjen pohjalta. Ideana on merkata aina alhaalta ylöspäin eli, kun kansiossa oleva työvaiheluettelo tai työmääräin kuitataan vaihe vaiheelta valmiiksi kuittaa tarkastaja lopulta koontilehdellä kyseisen työn valmiiksi. Tälle koontilehdelle voi olla listattuna useita töitä, joka riippuu tietenkin työn laajuudesta. Kun koontilehden kaikki kohdat esimerkiksi korjaustöiden osalta on merkattu tarkastetuiksi, tarkoittaa tämä sitä, että kaikki työt on suoritettu. Tällainen samanlainen koonti tapahtuu myös tarkastusten, vikojen ja vastaavien tapahtumien osalta. Kun työn kaikki osaset on merkattu suoritetuiksi tarkastajan ja asiakkaan vahvistuksella, voidaan työ lopulta sulkea ja kuitata tehdyksi. Tämän jälkeen huoltokansio arkistoidaan dokumenttina tehdystä työstä. Seuraavassa on listausta, mitä eri asioita huoltokansiolla seurataan ja dokumentoidaan (taulukko 5).

Taulukko 5 Huoltokansion sisälllys /4/

Pos	Nimi	Kuvaus	Ohje
1	Tilaus- ja työnumeroluettelo	Sisältää työlle tarkoitetut tilaukset sekä listauksen työnumeroista	M-FRM-SE-161
2	Työvaiheluettelot	Sisältää työlle tarkoitetut työvaiheluettelot sekä niiden sisällysluettelon ja muutosluettelon	M-FRM-SE-408
3	Muutos- ja tarkastusluettelo	Sisältää yksilölle tehtävät muutostyöt ja määräaikais-tarkastukset	M-FRM-SE-408
4	Poikkeamaluettelo	Sisältää listauksen työn poikkeavista toimenpiteistä	M-FRM-SE-408
5	Jäljelle jääneet huomautukset	Työnjohtajan kirjaamat työt joita ei voida suorittaa työvaiheluettelon mukaan	M-FRM-SE-158
6	Irrotettujen ja asennettujen laitteiden asiakirjat	Sisältää irrotetut ja asennetut osat sekä laitevaihdot	M-FRM-SE-121
7	Tarkastuspöytäkirjat	Sisältää vikailmoitukset, pienet vikakorjaukset sekä Patrian ja asiakkaan tekemät tarkastuspöytäkirjat	M-FRM-SE-408
8	Tyypikohtaiset asiakirjat	Sisältää huolto- ja mittauspöytäkirjat	M-FRM-SE-408
9	Koelentoasiakirjat	Sisältää koelentoluvan, koelentohuomautukset ja koelentopöytäkirjat	M-FRM-SE-408
10	Muut asiakirjat	Muut dokumentointia vaativat asiakirjat	M-FRM-SE-408

Työnsuunnittelija hoitaa huoltokansion valmiiksi sekä tekee huoltosuunnitelman LTJ järjestelmässä ennen yksilön ottamista työlle. Tarkastajan osuus on työn edetessä työvaiheluettelon työvaiheiden tarkastus ja kuittaus sekä tarkastuspöytäkirjojen laadinta ja toimittaminen kansioon ja niiden kuittaus. Kun työ on suoritettu, tarkastaja kuittaa työn valmiiksi sekä huoltokansioon että LTJ

järjestelmään. Tällä tavoin dokumentaatio kulkee ja rakentuu tämän tyyppisessä korjaustyössä.

9.2 Koneistusprosessin kulku

Eturunasivivekkeen modifikaatio voidaan jakaa kolmeen päätyövaiheeseen sekä muutamiin sivuvaiheisiin. Päätyövaiheet muodostuvat mittausvaiheesta, koneistusvaiheesta sekä kuulapuhallusvaiheesta. Näiden lisäksi tehdään prosessia edeltäviä ja seuraavia tehtäviä, joita ovat maalin- ja pinnoitteen poisto sekä maalaus.

Työ lähtee liikkeelle maalinpoistolla korvakealueelta, jonka jälkeen poistetaan vielä metallin pinnassa oleva IVD-pinnoite. Tämän jälkeen siviveke voidaan siirtää jigisiin. Työn alkuun suoritetaan paikannusosio, jossa laitteisto määrittelee koneistettavan alueen sijainnin suhteessa robottiin. Tässä osiossa käytetään numeerista ohjausta (CNC) mittapään liikkeisiin, joka mittaa korvakealueen geometrian sekä määrittelee vertailupisteet. Tällä osuudella varmistutaan, että laitteisto pysyy säädetyissä toleransseissa koko työn ajan. /2; 5/

Laitteistolla voidaan suorittaa tarkkaa hienotyöstöä kyseiselle korvakealueelle. Ennen kuin aloitetaan korvakkeiden koneistaminen, suoritetaan ainetta rikkomattomia tarkastuksia (NDT), jossa tunkeumaneste- ja pyörrevirtamenetelmin tarkastetaan löytyykö korvakealueelta säröytymiä. Näin ollen koneistusosiossa on kaksi polkua valittavana riippuen korvakealueen kunnosta. Kunnossa oleville korvakkeille tehdään omat toimenpiteet ja säröytyneille omansa. Mikäli säröjä ei löydy alkaa korvakkeiden koneistus ylempien ja alempien pintalevyjen trimmauksella (kuva 10), jolla taataan laitteiston koneistuspään pääsy korjattavalle alueelle. Kun säröjä ei löytynyt, on laitteisto ohjelmoitu suorittamaan ennaltaehkäisevä modifiointi korvakealueelle. Jyrsinnän aikana materiaalista koneistetaan 0.005-0.010” pois. Koneistus tapahtuu seuraavassa järjestyksessä. Aluksi koneistetaan korvakealueen ylä- ja alapinnat, jonka jälkeen siirrytään korvakkeiden tyvien koneistukseen. Korvakkeiden tyvet koneistetaan kartiomaisiksi. Jos taas korvakkeista löytyy säröjä, pitää koneistuksen avulla

poistaa jo syntyneet säröt ja rasituksesta väsynyt materiaali uusien säröytymien ehkäisemiseksi. Tässä vaihtoehdossa pinnasta poistetaan 0.010-0.015” materiaalia, jonka jälkeen suoritetaan NDT-tarkastus edellä mainituin menetelmin.

Tarkastuksen jälkeen suoritetaan vielä varmuuskoneistus, jossa pinnasta lähtee 0.020-0.025” materiaalia. Tämän varmistuksen tarkoituksena on poistaa NDT:n virhemarginaali. Koneistusosuuden teknisiä tietoja on esitetty tarkemmin liitteessä 1. /2; 5/

Koneistuksen jälkeen siirrytään kuulapuhallusvaiheeseen, jossa korvakealuetta puhalletaan keraamisin kuulin. Ennen puhallusta korvakealue pussitetaan siten, että syntyvä puhalluspöly ei pääsisi työskentelytiloihin. Myös saranalinjat suojataan, jotta kuulapuhallus ei vaurioittaisi korvakkeiden holkkeja. Tämän jälkeen kuulapuhallus voidaan aloittaa. Tätä vaihetta kontrolloi yhtäläillä laitteiston ohjausyksikkö, joka takaa oikean puhallusetäisyyden ja kuulien tulokulman. Kuten tutkintotyön aiemmassa vaiheessa on todettu, asetetaan laitteistolle oikeat suoritusarvot Almen-testiliuskojen (kappale 3.1) avulla tehtävällä intensiteetin mittauksella. Näin ollen työlle saadaan oikeat työstöarvot käytettävän paineen, virtausnopeuden ja intensiteetin osalta. /2; 5/

Kuulapuhalluksen jälkeen suojaukset puretaan ja kappale puhdistetaan puhallustomusta. Tämän jälkeen siiveke on valmis maalaukseen, jossa korvakealue saa uuden värin ja yksilö on taas valmiina käyttöön.

9.3 Laitteiston ylläpito

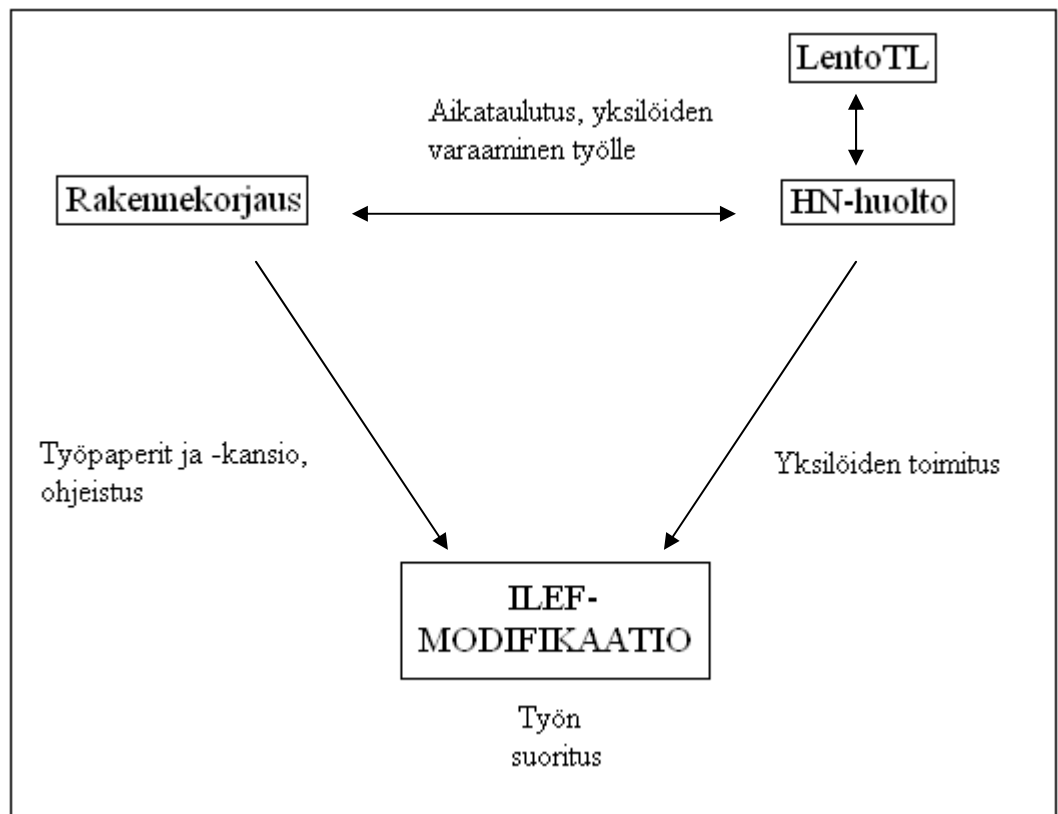
Tuotannon jatkuvuuden turvaamiseksi on robottisolun laitteistoa huollettava määräajoin. Kyseessä on ennaltaehkäisevä kunnossapitotoimi, jonka ohjeistusta ei ole vielä olemassa. Ohjeistus tulee laitteiston valmistajan kautta ja kunnossapitotehtäviin annetaan selvyttä laitteiston käyttökurssin yhteydessä.

9.4 ILEF-modifikaation alustava tuotannosuunnittelu

Edellä tekstissä on jo hieman raotettu toimintasuunnitelmaa, jolla etureunasiivekkeiden modifikaatiotyössä on tarkoitus edetä. Kuten todettua, F-huolto, joka tehdään 200 lentotunnin välein, olisi sopiva vaihtoehto modifikaation suorittamiseen.

Tuotannosuunnittelu alkaa työhön vaikuttavien tahojen määrittelyllä ja niiden tehtävien selvittämisellä. Työstä vastuullisena osastona on rakennekorjaamo, jonka resursseilla tämä työ hyvin pitkälti tehdään. Yhteistyössä Hornet-huollon ja Lentotekniikkalaitoksen kanssa sovitaan aikataulutuksesta ja korjattavien yksilöiden varaamisesta työtä varten. Rakennekorjaamon vastatessa työpapereista ja dokumentaatiosta toimittaa HN-huolto sovitut siivekkeet korjaukseen.

Seuraavassa periaatekuvassa 19 on esitetty yksinkertainen toimintamalli ja tehtävät tuotannon osalta.



Kuva 19 Modifikaatiotyön toimintamalli

V10-tuotannonohjausjärjestelmän avulla hallitaan työpapereiden laadintaa ja työn suoritusta. Aluksi tuotannonohjausjärjestelmän kautta työlle voidaan syöttää resurssit, joita tullaan käyttämään. Näiden resurssien pohjalta luodaan mallivaiheketju, johon voidaan määrittää valmiiksi työssä tehtävät työvaiheet ja tältä pohjalta syntyy valmistusmalli. Etureunasiiveketyön kohdalla valmistusmallia voidaan käyttää joko pelkästään resurssien määrittämiseen tai kokonaisen työvaiheluettelon laatimiseen. Mikäli tehdään päätös, että valmistusmallin avulla määritellään pelkät resurssit, täytyy sen tueksi tehdä vielä erikseen työvaiheluettelo. Erillisen työvaiheluettelon laatimista tukee se, että L-3:n kautta tulevat työohjeet todennäköisesti käännetään suomeksi, jolloin itse työvaiheluettelo rakentuisi käännettystä ohjeistuksesta omaksi dokumentikseen. Asia tarkentuu vasta siinä vaiheessa, kun tarvittavat dokumentit saapuvat Patrialle. Mikäli päädytään erilliseen työvaiheluetteloon, laaditaan tuotannonohjausjärjestelmän avulla työlle työmääräin, jossa on lueteltu työssä käytettävät resurssit ja niiden työtunnukset työlajeittain. Työtunnus on numerosarja, jota työntekijä käyttää tunnittaessaan tekeillä olevaa työtä. Työmääräimessä voisi ILEF:n modifikaation osalta olla esimerkiksi seuraavat resurssit mainittuna.

- 1) koneistustyön resurssi
- 2) NDT-tarkastus
- 3) tarkastustyö
- 4) maalaus
- 5) maalaustarkastus

Jos taas laaditaan pelkästään yksi työpaperi eli työlle tehdään työvaiheluettelo tuotannonohjausjärjestelmän avulla, pitää siinä olla yhdistettynä työvaiheisiin aina oikea resurssi. Valinta siitä, millaiset työpaperit työlle tehdään, riippuu työn laajuudesta, joka taas vaikuttaa suoraan työvaiheluettelon laadintaan. Jos työstä tulee pitkä ja monivaiheinen, käytetään usein erillistä työvaiheluetteloja ja lisäksi työmääräintä, joka kertoo työntekijälle, mitä työtunnusta kulloinkin käytetään. ILEF:n modifikaatiotyö on suuremman luokan projekti, joten sille avataan projektinumero, jonka päälle saadaan kerättyä kustannukset, työkustannukset ja työpaperit. Projektin alle avataan jokaiselle korjattavalle yksilölle oma työnumeronsa, jolloin työntekijä tunnittaa erikseen jokaisen tekemänsä

modifikaatiotyön. Työnumero muodostuu kuusinumeroisesta projektiosasta sekä nelinumeroisesta loppuosasta. Työnumeroiden jaottelu voi olla seuraavan mallin mukainen (taulukko 6).

Taulukko 6 Esimerkki työnumeroinnin jaottelusta

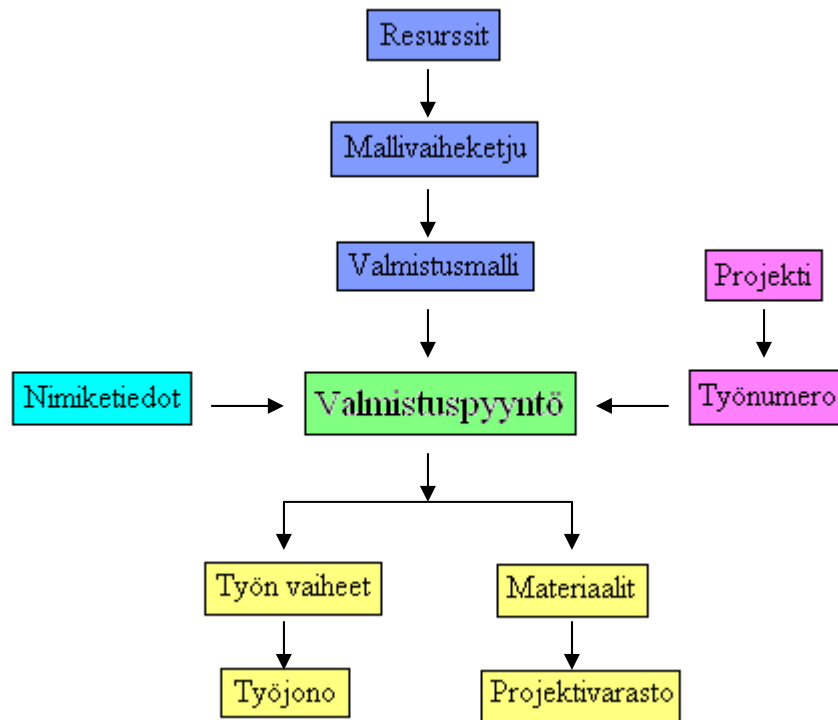
Projekti	Loppuosa	Nimi
W0XXXX	1000	Koneistustilan korjaustyöt
W0XXXX	2000	Robottisolun pystytys
W0XXXX	3000	Prototyö
W0XXXX	4000	ILEF modifikaatit
W0XXXX	5000	Tarvike- / materiaalihankinnat

Työlle avataan myös nimike, jota käytetään työn yksilöinnissä ja laskutuksen yhteydessä. Tuotannonohjausjärjestelmässä valmistusmallit ja nimiketiedot ovat linkitetty yhteen, jolloin käyttämällä tällä työllä samaa nimikettä jokaisen yksilön kohdalla saadaan työpapereiden laadinta käymään vaivattomasti. Tämä tarkoittaa sitä, että työpaperit käyvät joka työhön ja vain siivekkeiden yksilötiedot täytyy päivittää tapauskohtaisesti.

Kun edellä mainitut asiat yhdistetään, saadaan aikaan valmistuspyyntö, jossa työ kuormitetaan ja asetetaan työjonoon. Tässä vaiheessa voitaisiin tehdä vielä työn vaiheistukseen muutoksia. Tosin, jos tämän työn yhteydessä käytetään erillistä työvaiheluetteloa, ei työn vaiheistuksen muutoksia tehdä tuotannonohjausjärjestelmän puolella vaan erikseen tähän erilliseen työvaiheluetteloon.

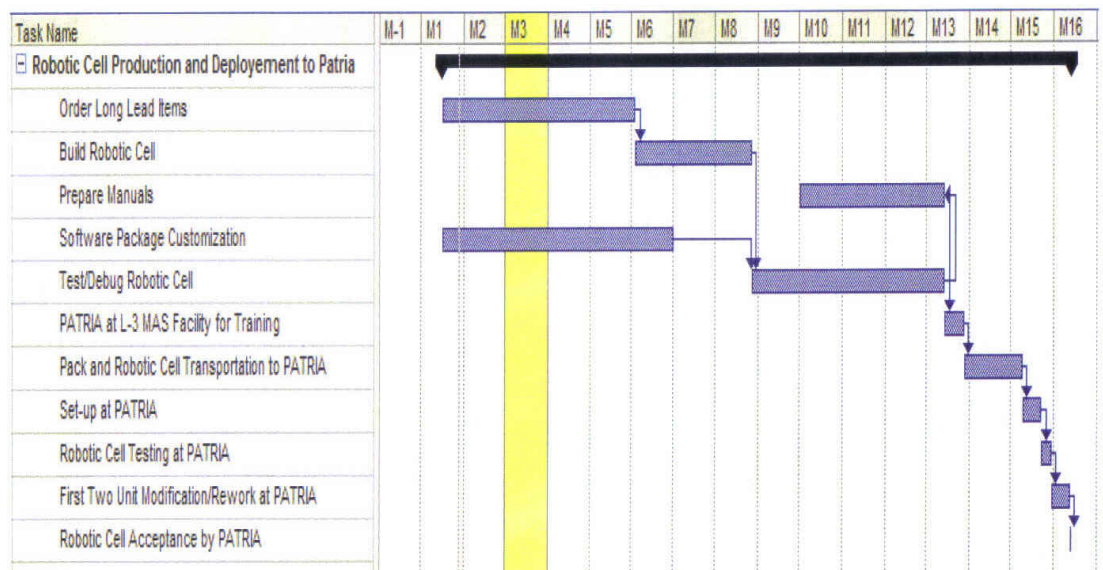
Tuotannonohjausjärjestelmä mahdollistaa myös projektivaraston ylläpidon tälle työlle, mikäli sen perustaminen katsotaan aiheelliseksi. Työssä käytetään paljon perustarvikkeita, mutta myös nimenomaan tälle työlle kohdistettuja tarvikkeita, joiden tilannetta voidaan varaston avulla hallita.

Kuvassa 20 on vielä selvitetty kaaviomuodossa kuinka edellä esiteltyä tuotannonohjausjärjestelmää olisi tämän projektin yhteydessä tarkoitus hyödyntää.



Kuva 20 V10-tuotannonohjausjärjestelmän käyttö ILEF-modifikaatiossa

Työn aikataulutusta ja ensimmäisten yksilöiden valintaa on vielä tässä vaiheessa suhteellisen vaikea laatia. Tähän vaikuttaa avoimet tekijät HN-koneiden vuoden 2009 huoltosuunnitelman osalta sekä ylipäänsä laitteiston toimitusaikataulun osalta. Seuraavassa on esitetty karkea aikataulu robottisolun käyttöönoton vaiheista laitteiston tilauksesta ensimmäisten kappaleiden valmistumiseen (kuva 21).



Kuva 21 Aikataulu robottisolun käyttöönotolle /2/

10 YHTEENVETO

Seuraava vaihe ILEF:n korjausprojektin kohdalla on robottisolun sijoituskohteen valitseminen. Tätä asiaa ei kannata jäädä odottelemaan vaan tehdä päätös mahdollisimman varhain ennen laitteiston saapumista, jotta tarvittavat järjestelyt ja asennustyöt saadaan tehtyä. Sijoitusmahdollisuuksia on monia, mutta tässä tutkintotyössä siis esiteltiin kolme hyvää vaihtoehtoa (kappale 8).

Muut asiat riippuvat pitkälti kuvan 25 aikataulun pitävyydestä.

Tuotannosuunnittelua voidaan tarkentaa siinä vaiheessa, kun tarvittava materiaali ja ohjekirjallisuus ovat saapuneet työlle. Myös tarkempi korjausaikataulu luodaan vasta HN-koneiden vuoden 2009 huoltosuunnitelman valmistuttua. Etukäteen on mahdollista laatia kappaleessa 9 esitettyjä tuotannon kannalta oleellisia asiakirja- ja työpaperipohjia joiden mukaan toimitaan.

Muita tulevaisuudessa tätä korjaustyötä koskevia käytännön asioita on työlle tehtävä tuotantokatselmus, jonka laativat Ilmavoimat ja Patria yhdessä. Tässä katselmuksessa laaditaan työstä tuotantokatselmuspöytäkirja (TKP), jossa käydään läpi onko edellytykset työn suorittamiseksi kunnossa. Tuotantokatselmuksen liitteeksi luodaan FAI-pöytäkirja (First Article Inspection), johon kirjataan mahdolliset epäkohdat työssä. Tarkkailtavia asioita ovat esimerkiksi työvaiheluettelot, piirustukset, ohjeet, tilat, työvälineet, materiaalit ja koulutus. Lopulta Ilmavoimat hyväksyy työn tuotantokatselmuksen, jossa todetaan, että työ voidaan suorittaa sen hetkisen tuotantovalmiuden perusteella. Asiakkaan hyväksynnän jälkeen työ voidaan suorittaa Patrialla ilman Ilmavoimien vastaanottotarkastusta.

Työn alussa asetetut tavoitteet saatiin mukavasti käsiteltyä ja selvitettyä tutkintotyötä tehtäessä. Toki tulevaisuuteen jää vielä selvitettävää, mutta tämä työ esittää kuitenkin alustavan suunnitelman laitteiston käyttöönotosta ja toimii pohjatietona työtä varten.

LÄHTEET

Painetut lähteet

1. Linna, Janne, Pinnan muokkauksen vaikutus alumiinirakenteen väsymislujuuteen, HN suunnitteluraportit, HN-L-0122, Patria 2007.
2. Bourret, David - LeBlanc, Benoit, ALEX 61 & 61.1 ILEF modification integrated machining & shot peening robotic cell “deliverable system & services”, L-3 MAS, Kanada 2007.
3. Nieminen, Terhi, Patrian henkilöstölehti Patrialainen maaliskuu 2008, Hämeen Kirjapaino Oy, Tampere 2008.

Sähköiset lähteet

4. Hakala Raimo, Ilma-alusten huolloista tehtävät asiakirjat, Patria Aviationin menettelyohje MA-PR-040-012G, Patria 2007.
5. Keinonen Mika - Raunio Jukka, ILEF ennaltaehkäisevä koneistus & kuulapuhallus L-3 lisenssi. [PowerPoint-tiedosto].
6. Patria Oyj. [www-sivu]. [viitattu 1.2.2008] Saatavissa: www.patria.fi.
7. Ilmavoimat. [www-sivu]. [viitattu 1.2.2008] Saatavissa: www.ilmavoimat.fi.
8. Patria Aviation intranet. [www-sivu]. [1.2.2008] Ei saatavissa.
9. Shot Peening Universe. [www-sivu]. [7.5.2008] Saatavissa: www.shotpeener.com/learning/icsp_4.htm.
10. Society of Manufacturing Engineers. [www-sivu]. [11.5.2008] Saatavissa: www.sme.org.