

Tutkintotyö

Rakennetarkastusten vaikutus lentokoneen määräaikaishuoltoihin

Työn teettäjä: Lentotekniikkalaitos

Työn ohjaaja: Yliopettaja Heikki Aalto

Työn tekijä: Tuukka Turunen

Kone- ja tuotantotekniikka
Lentokonetekniikka
Turunen, Tuukka
Tutkintotyö
Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Joulukuu 2009
Hakusanat

Rakennetarkastusten vaikutus lentokoneen määräaikaishuoltoihin
42 sivua + 135 liitesivua
Yliopettaja Heikki Aalto
Lentotekniikkalaitos

lentokone, rakennetarkastus, määräaikaishuolto

Tiivistelmä

Tässä tutkintotyössä, joka on tehty loppuvuodesta 2009, tarkastellaan F-18 Hornet lentokoneelle tehtävien rakennetarkastusten vaikutuksia huolto-organisaatiolle. Lisäksi analysoidaan mitä kehitettävää nämä kyseiset tarkastukset tulevaisuutta silmälläpitäen aiheuttavat. Työssä tarkastellaan miten tarkastukset olisi järkevintä integroida F-18 Hornetin määräaikaishuoltojärjestelmään sekä tutkitaan niiden aiheuttamaan huollon kuormitusta.

Tutkintotyön tarkoituksena on antaa Ilmavoimille tietoa, miten huolto-organisaatiota tarvitsee tulevaisuudessa kehittää sekä miten koneiden käyttöä on kehitettävä tarkastusten seurauksena. Työn lähtötaso on asetettu niin, että lukijakunnalta odotetaan lentotekniikan perustuntemusta ja sen tarkoituksena on palvella pääsääntöisesti Ilmavoimien Lentotekniikkalaitoksen henkilökuntaa.

Tutkintotyön tuloksena on kiinnitetty huomiota tarkastusten kerääntymiseen tietyille vuosille, joka aiheuttaa huolto-organisaatiolle huomattavaa kuormituksen lisääntymistä. Tämän seurauksena on huomattu tarpeelliseksi kehittää koneiden lennätystä jotta tarkastukset saataisiin jakautumaan tasaisemmin ja vältettäisiin huolto-organisaation kuormitushuiput.

Tutkintotyön myötä Ilmavoimat saavat yksityiskohtaista tietoa, miten varautua rakennetarkastusten aiheuttamiin haasteisiin sekä mitä tarpeita ne aiheuttavat jatkokehitykselle tulevaisuudessa.

Mechanical and Production Engineering

Aircraft Engineering

Turunen, Tuukka

Engineer Thesis

Thesis Supervisor

Commissioned by

December 2009

Keywords

Effects of structural inspections to aircraft maintenance program

42 pages + 135 appendices

Principal Lecturer Heikki Aalto

Finnish Air Force Air Material Command

aircraft, structural inspections, maintenance

Abstract

In this work that has been made in end of year 2009, is being studied structural inspections that will be implemented to F-18 Hornet aircraft and analyze how these inspections will affect to maintenance organisation and what should be improved in future because of these inspections. This work also contains analyze of how these inspections should be integrated to maintenance program and how much they will increase workload of maintenance organisation.

As result this work will give feedback to Finnish Air Force how it should develop maintenance organisation and use of F-18 Hornet fleet. Level of this work has been set so that readers are expected to have basic aeronautical engineering skills and main target group is personnel of Finnish Air Force's Air Material Command.

As result of this work has been noticed that in inspections will concentrate to certain years which will cause big workload to maintenance organisation. Because of that that there is need to develop fleet usage so inspections would be spread out smoothly over the years.

As final feedback Finnish Air Force will get detailed information of how they should be prepared to effects of these inspections and what they should concentrate in further development.

Työssä käytettävät lyhenteet

FH = lentotunti (Flight Hour)

LentoTL = lentotekniikkalaitos

LeKoMo = lentokonekorjaamo

MMH = Huollon työtunnit (Maintenance Man Hour)

SI-kirja = Rakennetarkastusohjeet HN4-110-02S1 (Structural Inspections)

FLE = väsymiskertymä, (Fatigue Life Expended)

NDT = Non-Destructive Test

ILEF = sisempi etureuna siiveke (Inboard Leading Edge Flap)

OLEF = ulompi etureuna siiveke (Outboard Leading Edge Flap)

TEF = laskusiiveke (Trailing Edge Flap)

RH = oikean puoleinen (Right Hand)

LH = vasemman puoleinen (Left Hand)

LAU = ohjuskisko (Launch Adapter Unit)

<u>1 Johdanto.....</u>	<u>6</u>
<u>2.1 Tehtävät asetus.....</u>	<u>7</u>
<u>2.2 Työn tavoitteet.....</u>	<u>8</u>
<u>2.3 Työn rajaus.....</u>	<u>8</u>
<u>2.4 Työn aikataulu ja menetelmät.....</u>	<u>8</u>
<u>2.5 Aineisto ja menetelmät.....</u>	<u>9</u>
<u>3 F-18 Hornet määräaikaishuoltojärjestelmä.....</u>	<u>10</u>
<u>3.1 Järjestelmän kehitys.....</u>	<u>10</u>
<u>3.2 Huoltojaksot.....</u>	<u>10</u>
<u>4 Suoritettavat rakennetarkastukset.....</u>	<u>12</u>
<u>4.1 Rakennetarkastusten perusteet.....</u>	<u>12</u>
<u>4.2 Suoritettavat tarkastukset.....</u>	<u>13</u>
<u>4.3 Kumoava toimenpiteet.....</u>	<u>18</u>
<u>5 Tarkastusten integrointi huoltolistaan</u>	<u>19</u>
<u>5.1 Lähtökohdat.....</u>	<u>19</u>
<u>5.2 Patria Aviationin ja Lennostojen toiminnan eroavaisuudet.....</u>	<u>20</u>
<u>5.3 Järjestyksen konseptin laadinta.....</u>	<u>21</u>
<u>6.1 Laadinta.....</u>	<u>22</u>
<u>6.2 Kumoavien toimenpiteiden vaikutus.....</u>	<u>26</u>
<u>6.3 Laskelman yhteenveto.....</u>	<u>27</u>
<u>7 Tulosten tarkastelu.....</u>	<u>28</u>
<u>8 Yhteenveto ja jatkokehitystarpeet.....</u>	<u>29</u>

1 Johdanto

Ilmavoimien Lentotekniikkalaitos vastaa Ilmavoimien kaluston kunnossapitoon liittyvästä logistisesta ja teknisestä tuesta ja ohjeistuksesta. Merkittävä panos kohdistuu F-18 Hornet -lentokoneen kunnossapidon seurantaan ja kehittämiseen koneiden ikääntyessä ja lentotunti kertymän kasvaessa. Näin mahdollistetaan koneiden kunnan säilyminen siinä tilassa, mitä Suomen ilmatilan valvonta ja puolustaminen vaativat.

Tämän hetken haasteita ovat kaluston ikääntymisen aiheuttaman rakenteiden väsymisen seuranta ja jo syntyneiden vaurioiden korjaaminen, jotta välttyttäisiin suuremmilta vaurioiden aiheuttamilta ongelmilta. Tämän vuoksi on laadittu selkeät ohjeet miten näitä vaurioita tullaan ehkäisemään ja miten niiden kehitystä seurataan Hornetin elinkaaren aikana. Jotta saavutettaisiin maksimaalinen tehokkuus, on seurantaan ja ehkäisyyn käytettävät rakennetarkastukset päätetty integroida F-18 Hornet koneen huoltojärjestelmään. Tämä tutkintotyö liittyy siis koko huoltojärjestelmän jatkuvaan kehittämiseen ja koneiden kunnan seurantaan jota Lentotekniikkalaitos jatkuvasti suorittaa.

Lisäksi, jotta tarkastusten aiheuttaman työmäärän lisääntymisen pystyisi ottamaan huomioon, suoritettiin tutkintotyön yhteydessä kuormituslaskelma, josta kävi ilmi tarkastusten aiheuttamien miestyötuntien lisääntyminen. Tämä oli tarpeen sen takia, että Ilmavoimat pystyisi varautumaan huoltoaikojen muutoksiin sekä niiden aiheuttamaan työnvoiman tarpeeseen. Lisäksi laskelma auttaa huollon suunnittelua minimoimaan koneiden seisonta-ajat huoltoa odottaessa.

2 Työn lähtökohdat

2.1 Tehtävät asetus

Tutkintotyön tehtävän asetus oli pitkä prosessi, joka alkoi toukokuun alussa 2009 työn tekijän yhteydenotolla kapteeni Harri Saariseen Satakunnan Lennostoon. Hän ohjasi asiaa eteenpäin Everstiluutnantti Kari-Pekka Vesaselle, jonka kautta päädyttiin lopulta yhteydenottoon Lentotekniikkalaitoksen kanssa. Lentotekniikkalaitoksessa yhteyshenkilönä toimi diplomi-insinööri Henry Paajanen, aiheeksi valittiin rakennetarkastusten integrointi F-18 Hornet -lentokoneen huoltojärjestelmään. Valintaan vaikutti aiheen ajankohtaisuus, sopivuus tutkintotyöksi sekä sen laajuus. Aihe vahvistettiin lopullisesti työn ohjaajan Heikki Aallon sekä Henry Paajasen kanssa Tampereen ammattikorkeakoulun tiloissa pidetyssä palaverissa 8.7.2009

F-18 Hornet on tällä hetkellä ollut Ilmavoimien käytössä noin 14 vuotta. Tämä on aiheuttanut sen että koneen rakenteiden väsymisen ja mahdollisen säröytymisen valvonta on tullut ajankohtaiseksi. Tämän tutkintotyön tarkoituksena on integroida jo olemassa olevat rakennetarkastusmenetelmät osaksi F-18 Hornet -koneen määräaikaishuoltojärjestelmään. Tämä auttaa minimoimaan rakennetarkastusten aiheuttamat kustannukset ja kuormitus Ilmavoimien huolto-organisaatiolle.

Tutkintotyön tuloksena Ilmavoimat saavat optimoidut huollon työjärjestyslistat määräaikaishuoltoihin sekä yksityiskohtaisen laskelman, miten rakennetarkastukset tulevat lisäämään huollon kuormitusta tulevaisuudessa.

2.2 Työn tavoitteet

Työn alkuperäisenä tavoitteena oli saada aikaan päivitetty huollon työjärjestyslista. Se oli tarkoitus olla optimoitu kustannusten ja huolto-organisaation kuormituksen minimoimiseksi. Toisena tavoitteena oli suorittaa laskelmat miten rakennetarkastukset lisäävät työaika koneyksilökohtaisesti koko kaluston käyttöiän aikana. Kuitenkin työn edetyssä työn tavoitteet muuttuivat ja pääkohdaksi nousi rakennetarkastusten aiheuttaman työmäärän lisääntymisen kertovat laskelmat.

2.3 Työn rajaus

Työ oli rajattu koskemaan määräaikaishuoltoja E ja F sekä rauhan ajan huoltojärjestelmiä. Työn suorittamisen yhteydessä aiheen rajaus hieman muuttui eli huollon työjärjestyslistan tärkeys väheni huomattavasti johtuen työtapojen ja organisaatioiden eroista Ilmavoimissa ja Patria Aviationilla.

2.4 Työn aikataulu ja menetelmät

Työn valmistumisen takarajaksi päätettiin 31.12.2009 johtuen lähinnä LentoTL:n organisaatiossa tapahtuvista muutoksista, jotka astuvat voimaan vuoden 2010 alusta. Työntekijän henkilökohtainen tavoite työn valmistumiselle oli marraskuu 2009 joka ei kuitenkaan toteutunut, vaan tutkintotyön valmistui joulukuussa 2009. Tämän seurauksena olikin erittäin tärkeää että työntekijä pystyi keskittymään kokoaikaisesti tutkintotyön tekoon, sillä aika taulu oli erittäin tiukka johtuen työn aloitus ajankohdasta joka oli 30.8.2009.

2.5 Aineisto ja menetelmät

Työn suoritettiin LentoTL:n lentoteknillisen toimiston tiloissa johtuen työssä käytettävän materiaalin salassa pidettävyydessä. Tämä aiheutti sen että työssä tarvittavaa materiaalia ei voinut viedä pois LentoTL:n tiloista.

Pääasiallisena aineistona käytettiin HN4-02S1, Määräaikaishuollot F-18C ja F-18D (lähde 1) sekä HN4-110-02S1, Rakennetarkastusohjeet (lähde 2) teoksia. Lisäksi aineistona käytettiin myös Ilmavoimien LTJ järjestelmästä saatua tietoa ja eri henkilöiden haastatteluja. Tämän lisäksi myös Jukka Toiviaisen insinööriyö, F-18 Hornet -lentokoneen määräaikaishuoltojärjestelmien vertailu (lähde 3), on antanut paljon tietoa määräaikaishuoltojärjestelmän laadinnasta ja kehityksestä Ilmavoimissa.

Lisäksi työnaikana vierailtiin Satakunnan Lennoston Lentokonekorjaamolla sekä Patria Aviationilla keskustelemassa työn yksityiskohdista ja keräämässä mielipiteitä ja tietoja kyseisistä aiheista.

3 F-18 Hornet määräaikaishuoltojärjestelmä

3.1 Järjestelmän kehitys

F-18 Hornet -lentokoneen Ilmavoimissa käytettävä huoltojärjestelmä on kehitetty US Navyn huoltojärjestelmän perusteella ja se on muokattua ilmavoimien käytäntöihin (lähde 3), koneiden käyttöön ja Suomen olosuhteisiin sopivaksi. Merkittävimpiä muutoksia ovat muun muassa kalenteriaikaisten toimenpiteiden muutos lentotuntiperusteisiksi sekä korroosiotarkastusten vähentäminen johtuen käyttöympäristön erilaisuudesta.

Huoltojärjestelmä on jatkuvan kehityksen alla ja sitä muutetaan koko ajan paremman kustannustehokkuuden sekä turvallisuuden aikaan saamiseksi. Merkittäviä muutoksia, mitä on tähän mennessä tapahtunut järjestelmän käyttöön oton jälkeen, on erilaisten F-huoltojen voimakas lisääntyminen johtuen siinä tehtävien toimenpiteiden jaksonmuutumisesta. Järjestelmän jatkuvaa kehitystä kuvaa hyvin ohjeistuksen tämän hetkinen muutosaste joka 14.9.2009 oli 59 (lähde 1).

3.2 Huoltojaksot

Hornet:n määräaikaishuollot on jaettu kolmeen, D, E ja F, huoltoon joiden jaksojen pituudet vaihtelevat 50 FH:sta aina 800 FH:iin. Tästä seuraa että huolto-ohjelmassa on useita sisällöltään erilaisia määräaikaishuoltoja. D ja E huoltoja on kaksi erilaista ja F huoltoja yhteensä 6 erilaista.

Näiden lisäksi löytyy vielä A-, B-, ja C-tarkastukset jotka kulkevat käyttöhuollon nimellä. Näistä A-tarkastus on lentojen välinen tarkastus, jolla varmistetaan että kone on kunnossa seuraavaa tehtävää varten. B-tarkastus on niin sanottu päivätarkastus, joka suoritetaan päivittäin ennen lentoja. C-tarkastus, on taas määräaikaistarkastus jonka jakso on 25 ± 5 FH.

Jaksoilla on tietyt toleranssit, jotka E- ja F-huolloissa on ± 20 FH:ta ja D-huollossa ± 10 FH:ta. Tämä mahdollistaa huoltojen ajoittamisen mahdollisimman tehokkaasti ilman että koneet joutuisivat seisomaan odottaessaan huoltoon pääsyä. Toleranssin käyttö ei myöskään siirrä seuraavan huollon ajankohtaa jonka seurauksena voi kahden huollon väli vaihdella 20 FH:sta aina 80 FH:n

F-18 Hornet -lentokoneelle tehtävät rakennetarkastukset noudattavat samaa jaksotusta kuin määräaikaishuollot. Suurin osa tarkastuksista noudattaa F-huollon jaksoa tai sen kerrannaista.

4 Suoritettavat rakennetarkastukset

4.1 Rakennetarkastusten perusteet

Tarve rakennetarkastuksille on tullut ilmeiseksi kaluston lentotuntien lisääntyessä, jolloin väsymisen vaikutusten seuranta on tullut erittäin tärkeäksi. Seuranta auttaa varmistamaan kaluston käyttökunnon säilyminen koko F-18 Hornet:n eliniän ajan.

Lisäksi koneen muilta käyttäjiltä on saatu tietoa väsymyksen aiheuttamista vaurioista, joiden perusteella tarkastettavia kohteita on määrätty. Tarkastusten ohjeistuksessa on huomioitu koneyksilöiden erot, joten osa tarkastuksista suoritetaan vaan tiettyihin yksilöihin) tai tiettyyn malliin kuten F-18 C tai F-18 D (lähde 2).

Ohjeistuksen laadinta

Rakennetarkastusohjeet on numeroitu seuraavaksi esitetyn periaatteen mukaan (lähde 2.). Numerointi koostuu kolmesta osasta joista ensimmäinen kertoo tarkastuksen alueen, esimerkiksi 10 = Runko, toinen tarkoittaa aluetta, esimerkiksi 020 = keskirunko ja kolmas on juokseva numerointi kyseiselle tarkennetulle alueelle. Numerointi poikkeaa suuresti Hornetin määräaikaishuollon tehtävien numeroinnista.

Fleet Leader tarkastusten perusteella saatiin arviot yksittäisen tarkastuksen vaatimasta kestosta. Arvio kuitenkin perustui ainoastaan yhdelle koneelle suoritettuihin tarkastuksiin ja sen takia osana tutkintotyötä oli myös tarkastella arvioiden paikkansa pitävyyttä yhdessä NDT -tarkastajien kanssa.

4.2 Suoritettavat tarkastukset

F-18 Hornetille suoritettavia rakennetarkastuksia on SI-kirjassa tällä hetkellä runsaasti. Tarkastuksissa käytettävät menetelmät vaihtelevat kohteen mukaan mutta yleisin on pyörrevirtatarkastus. Muita käytettyjä menetelmiä ovat muun muassa ultra-äänitarkastus sekä visuaalinen tarkastus kohteissa, jossa laitteiden käyttö on hankalaa tilan puutteen tai muiden syiden takia.

Tarkastukset on jaoteltu 4:ään eri ryhmään tarkastuskohteiden sijainnin mukaan. Seuraavassa käydään tarkemmin läpi eri ryhmät ja niille tehtävät tarkastukset.

Runko

Siivet

Ohjainpinnat

Laitteet

4.3 Kumoava toimenpiteet

Osalle tarkastuksista on määritetty kumoava toimenpide, jonka jälkeen tarkastusta ei tarvitse suorittaa tai tarkastuksen jakso tai kynnyisarvo muuttuu. Nämä toimenpiteet pitää ne ottaa huomioon huoltosuunnittelussa koneyksilökohtaisesti.

5 Tarkastusten integrointi huoltolistaan

5.1 Lähtökohdat

Alustavasti tutkintotyön tärkein yksittäinen kohta oli integroida rakennetarkastukset huoltojaksoihin niin, että töiden suoritusjärjestys olisi mahdollisimman optimaalinen. Työtä aloittaessa oli muutamalle koneyksilölle jo suoritettua eräitä tarkastuksia mutta työt olivat olleet ns. lisätöitä, jolloin ne oli lisätty huoltolistan loppuun.

Järjestyksen laadinta aloitettiin tutustumalla nykyiseen huollon työjärjestykseen sekä tehtäviin rakennetarkastuksiin, jonka jälkeen lähdettiin kartoittamaan huolto-organisaation mielipiteitä ja toivomuksia. Aluksi oltiin yhteydessä Satakunnan Lennoston Lentokonekorjaamolle, jonka kanssa käydyn palaverin jälkeen laadittiin alustava suunnitelma uudesta työjärjestyksestä.

Tämän jälkeen käytiin keskusteluja Patria Aviationin kanssa, minkä seurauksena työn tavoitteet hieman muuttuivat. Patria Aviationin HN-korjaamo suorittaa noin 2/3 tehtävistä rakennetarkastuksista ja kun tutustuimme heidän työtapoihinsa ja toiveisiinsa huomasimme että ne eroavat suuresti lennostojen vastaavista. Lisäksi Patrian asiantuntijoiden mielestä tarkastusten sirottelu muiden huoltotoimenpiteiden joukkoon ei ollut tarpeen vaan he olisivat halunneet ne omaksi ryhmäkseen huoltolistaan. Tämän seurauksena luovuttiin tavoitteesta luoda uusi huollon työjärjestys LTJ-järjestelmään ja laadittiin ainoastaan konsepti uudesta järjestyksestä.

5.2 Patria Aviationin ja Lennostojen toiminnan eroavaisuudet

Huoltosuunnittelun eroavaisuudet

Kävi ilmi että Lentokonekorjaamon ja Patrian työtavat erosivat suuresti. Yksi suuri eroavaisuus oli, miten huollon lopullinen työjärjestys muodostuu kummassakin paikassa.

Lennostoissa koneen tullessa huoltoon, muodostaa huollon suunnittelija konekohtaisen huoltosuunnitelman, joka sisältää tehtävät huoltotoimenpiteet, laitevaihdot, vikakorjaukset ja rakennetarkastukset. Tämän jälkeen huoltohenkilökunta suorittaa varsinaisen huollon noudattaen suunnittelijan laatimaa järjestystä.

Patria Aviationilla toiminta eroaa tästä suuresti. Heillä huollonsuunnittelija tekee listan koneelle tehtävistä toimenpiteistä jaotellen ne kokonaisuuksiin jotka ovat huoltotoimenpiteet, vikakorjaukset, laitevaihdot, rakennekorjaukset. Tämän jälkeen huoltotiimin vetäjä laatii tämän listan perusteella järjestyksen jossa tehtävät suoritetaan.

5.3 Järjestyksen konseptin laadinta

Koska yksi tutkintotyön alkuperäisistä tavoitteista oli kuitenkin laatia uusi suoritusjärjestys päätettiin siitä muodostaa konsepti, jota ei kuitenkaan syötetty LTJ-järjestelmään. Järjestys laadittiin pääsääntöisesti Satakunnan Lennoston Lentokonekorjaamon toiveiden ja mielipiteiden perusteella.

Suurimpia toiveita järjestykselle oli rakennetarkastusten sijoittaminen mahdollisimman alkupäähän huollon työjärjestystä, jolloin mahdollisten vaurioiden havaitseminen ei tapahtuisi huollon viimeisinä päivinä ja aiheuttaisi näin niin suuria ongelmia aikataulujen kanssa. Tämän seurauksena noin puolet tehtävistä tarkastuksista onkin ensimmäisen 30 tehtävän toimenpiteen joukossa.

Lisäksi osassa tehtäviä tarkastuksia niiden vaatimat valmistelevat toimenpiteet osuivat yhteen huollossa tehtävien toimenpiteiden kanssa joten nämä tehtävät päätettiin niputtaa yhteen. Tällaisia kohteita olivat siipi-runkoliitosalueelle tehtävät tarkastukset ja huoltotoimenpiteet, etureunasiivekkeille tehtävät toimenpiteet, APU:n pitkittäisjäykisteen tarkastus sekä moottoritilan ja sivuperäsimen tarkastukset.

6 Kuormituslaskelma

Jotta saataisiin tarkempi kuva rakennetarkastusten aiheuttamasta kuormituksesta Ilmavoimien huolto-organisaatiolle, oli tutkintotyön eräänä osana kuormituslaskelman laadinta. Alun perin tarkoitus oli vain tehdä yleinen laskelma vuositasolla mutta työn edistyessä se muuttui yksityiskohtaiseksi laskelmaksi, josta selviää jokaiselle koneyksilölle tehtävät rakennetarkastustoimenpiteet ja niiden kesto.

6.1 Laadinta

Laskelmat päätettiin suorittaa Excel-taulukkona ja tätä varten täytyi aluksi miettiä hyvinkin tarkkaan kaikki mahdolliset muuttujat sekä tilanteet mitkä täytyisi ottaa huomioon. Varsinkin kynnyksarvot ja niiden ylitykset sekä koneen lentotuntikertymän huomioon ottaminen aiheutti aluksi huomattavaa miettimistä ennen kuin sopivat operaattorit kaavojen muodostamista varten löytyivät. Kuitenkin tähän kulunut aika oli kannattavaa sillä käsin laskettuna olisi laskelman tekeminen kestänyt hyvinkin pitkään johtuen tarkastusten ja koneyksilöiden määrästä.

Lisäksi oli laskelmaa tehtäessä käytävä useita keskusteluja sekä Lentokonekorjaamon ja Patria Aviationin kanssa, jotta saataisiin mahdollisimman tarkat tiedot tarkastusten vaatimasta ajankäytöstä sekä kumoavien toimenpiteiden vaikutuksesta.

Laskennassa käytetyt kaavat ja niiden muodostaminen

Laskelmaa laadittaessa selkeimmät muuttujat olivat koneyksilöiden lentotuntikertymä ja sekä arvioitu lentotuntimäärä, jotka määräävät täysin suoritettavien tarkastusten kokonaismäärän. Lisäksi laskelman kaavaa muodostettaessa täytyi, kuten jo mainittu, ottaa huomioon tarkastusten kynnyсарvo, joka aiheutti suurta miettimistä ennen kuin oikeat menetelmät löytyivät. Ja kun tähän lisätään vielä jaksot sekä yksityiskohtana se, että tarkastusten kokonaismäärä täytyi aina pyöristää alaspäin lähimpään kokonaislukuun, oli kaavan muodostaminen melko haastava ja suurta tarkkuutta vaativa toimenpide. Kaavan tarkistamiseksi jouduttiinkin suorittamaan useita laskutoimituksia käsin käyttäen eri arvoja lentotunneissa, kynnyсарvoissa sekä jaksoissa ja voitiin varmistua siitä että virheellisiä tuloksia ei tulisi.

Ennen kuin kaavaa aloitettiin laatimaan Exceliin, tehtiin kaava käsin, jotta kaavan muokkaaminen ja tarkistaminen sujuisi helpommin. Kaavan muodostamista varten määriteltiin seuraavat muuttujat.

T = tarkastusten lukumäärä

F_H = arvio tulevista lentotunneista

F_K = lentotunnit tarkastelun alussa

K = tarkastuksen kynnyсарvo

J = tarkastuksen jakso

Näitä muuttujia käyttäen aloitettiin laatimaan kaavaa ja lopullinen muoto sille on esitetty kaavassa 1.

$$T = \begin{cases} F_K \geq K; \frac{F_K + F_H - K}{J} - \frac{F_K - K}{J} & 1. \text{tapaus} \\ F_K < K; \begin{cases} F_K + F_H \geq K; 1 + \frac{F_K + F_H - K}{J} & 2. \text{tapaus} \\ F_K + F_H < K; 0 & 3. \text{tapaus} \end{cases} \end{cases}$$

Kaava 1. Tarkastusten lukumäärän laskemiseksi muodostettu kaava.

Kuten on nähtävissä, on kaavassa käsitelty kolme eri tapausta. Näistä ensimmäinen on tilanne, jossa kone on jo ylittänyt kyseisen tarkastuksen kynnyksiarvon. Tällöin ensin lasketaan koneelle tehtyjen tarkastusten kokonaismäärä kokonaislukuna tarkastelujakson lopussa minkä jälkeen siitä vähennetään ennen tarkastelujakson alkua tehdyt tarkastukset samoin kokonaislukuna.

Seuraava tapaus on kun kone ei ole vielä ylittänyt tarkastuksen kynnyksiarvoa mutta ylittää sen tarkastelujakson aikana. Tällöin lasketaan koneelle tehtyjen tarkastusten kokonaismäärä johon lisätään yksi (1), jotta otettaisiin huomioon myös kynnyksiarvon ylityksen aiheuttama tarkastus mikä muuten jäisi puuttumaan tuloksesta.

Viimeinen tapaus on se että kone ei tule ylittämään tarkastuksen kynnyksiarvoa tarkastelujakson aikana. Tällöin tarkastusten kokonaismäärä on yksiselitteisesti nolla (0).

Kaavaa käytettäessä on hyvin tärkeää, että laskenta suoritetaan käyttäen kokonaislukuja, sillä muuten tulosten oikeellisuus ei toteudu. Käytännössä tämä näkyy, siinä että osamäärät on aina muutettava alaspäin seuraavaan kokonaislukuun ennen yhteenlaskua.

Kaavan tarkistamisen jälkeen seuraava haaste oli syöttää se Excel- taulukkolaskentaohjelmaan. Tämä oli tarkkuutta vaatia toimenpide, sillä kaavaan tulevat virheet aiheuttaisivat koko laskeman tulosten virheellisyyden. Lisäksi virheiden löytäminen olisi hyvin haastavaa johtuen laskettavien

muuttujien ja tulosten suuresta määrästä sekä siitä, että Exceliin syötettynä kaava on melko hankalasti luettavissa. Lisäksi täytyi löytää vastaavuuden kaavassa esitettyihin matemaattisiin operaattoreihin. Nämä olivat Excelin JOS- ja KOKONAISLUKU-funktiot.

Kun näin oli saatu muodostettua kaava tarkastusten kokonaismäärän laskemiseksi, oli seuraava tehtävä laatia laskentakaavat käytettävyyden alenimisen, tarkastusten kokonaiskeston ja aiheutuneiden kustannusten laskemista varten. Tarkastusten kesto laskettiin kertomalla niiden määrä yhden tarkastuksen kestolla. Nämä tiedot oli saatu Patria Aviationilta ja ovat esitetty taulukossa 5. tutkintotyön edetessä saatiin vielä tietoja tarkastusten kestosta perustuen kahteen F-18D Hornetin huoltoon. Kestoissa oli kuitenkin hyvin suurta hajontaa, joten niitä ei vielä tässä vaiheessa käytetty. Tulevaisuudessa, kun kestoista on enemmän tietoa, voidaan laskelmia päivittää niiden avulla.

Konekohtainen tarkastelu

Jotta laskelmasta saataisiin mahdollisimman tarkka, päätettiin jokaiselle koneyksilölle tehdä oma työkirjansa jossa tarkastusten kokonaismäärä tietyllä ajanjaksolla voidaan laskea. Näin pystytään ottamaan huomioon koneyksilökohtaiset erot lentotunneissa (Lähde 5), eri malleille ja yksilöille määrätyt tarkastukset sekä saadaan yksityiskohtaista tietoa, miten koneyksilöiden tarkastusten lukumäärä tulee ajan saatossa muuttumaan. Lisäksi tämä mahdollistaa laskelman helpon päivityksen tulevaisuudessa, jos tälle havaitaan tarvetta.

Laskelmassa käytetyt konekohtaiset lentotuntikertymät saatiin Ilmavoimien LTJ-järjestelmästä ja ne on otettu loka-marraskuun vaihteessa.

Kun oli laadittua konekohtaiset taulukot syötettiin niihin sivulla 24 kaava (kaava 1.) tarkastusten kokonaismäärän laskemiseksi jokaiselle eri rakennetarkastukselle. Tämän lisäksi laskettiin vielä tarkastusten kestot, jonka jälkeen tulokset kasattiin yhdelle taulukolle ensin konekohtaisesti vuositasolla. Lisäksi tehtiin vielä toinen taulukko, jossa eri vuosien tarkastusten kokonaiskestot, niiden aiheuttamat kustannukset ja käytettävyyden alenemiset on esitetty sekä taulukkomuodossa että graafisina kuvaajina helpottamaan kokonaisuuden arviointia.

6.2 Kumoavien toimenpiteiden vaikutus

Kuormituslaskelmaa laadittaessa ei voinut suoraan ottaa huomioon rakennetarkastuksille määritettyjä kumoavia toimenpiteitä sillä niiden tarkkaa ajankohtaa ei koneyksilöille ollut määritetty. Tämän takia arvioitiinkin kuinka paljon kumoavat modifikaatiot tulevat vähentämään tarkastuksiin kuluvaan aikaa vuositasolla. Tämän arvio on otettu Henry Paajasen laatimasta Excel-taulukosta (lähde 4.) ja vaikkakin se on hyvin suuripiirteinen antaa se kuitenkin kuvan näiden toimenpiteiden vaikutuksesta huollon kokonaiskuormitukseen.

6.3 Laskelman yhteenveto

Koska laskelmat käsittävät yhteensä yli 2000 sivua sekä useita Excel-
taulukoita päätettiin tärkeimmät tiedot koota yhteen taulukkoon helpottamaan
kokonaiskuvan saantia. Tämä sen takia, että oleellisten tietojen kaivaminen
näiden sivujen joukosta olisi muuten hyvin haastavaa. Lisäksi laskelman
laajuus aiheutti sen, että sen tulevaa käyttöä tämän tutkintotyön jälkeen ei ole
vielä tarkasteltu.

Lisäksi laskelmaa tarkasteltaessa täytyy ottaa huomioon, että sen perustana
on käytetty koneyksilöiden runkojen lentotunteja. Tämän seurauksena se ei
ota huomioon määrättyjä laitevaihtojen, kuten ohjainpinnat, aiheuttamia
eroavaisuuksia.

7 Tulosten tarkastelu

8 Yhteenveto ja jatkokehitystarpeet

Rakennetarkastusten aiheuttama työmäärän lisääntyminen on haaste Ilmavoimien Hornet-kaluston huollolle. Koko F-huollon kesto lisääntyy mikä aiheuttaa huolto-aikojen kasvua sekä kustannusten nousua. Lisäksi se aiheuttaa muutoksia koneiden käytettävyyteen, joten niiden lennätystä täytyy suunnitella uudelleen koneiden sujuvan ja tasaisen käytön mahdollistamiseksi.

Tulevaisuudessa rakennetarkastukset vaativat niiden vaikutusten tarkempaa seuraamista. Näin voidaan saada tietoa niiden vaikutusten muuttumisesta työmenetelmien ja tapojen kehittymisen myötä sekä tarkemmin analysoida koneiden käytettävyyden muuttumista. Varsinkin aluksi saattaa tarkastusten kestossa ja sen myötä huolto-ajoissa olla suuriakin eroja.

Tarkastusten keskittyminen tietyille vuosille vaatii myös jatkossa tarkempaa perehtymistä. On hyvin tärkeää että pystyttäisiin välttämään tarkastusten keskittyminen ja näin tasaamaan huolto-organisaation kuormitusta. Tämä auttaa huolto-aikatauluissa pysymistä sekä varmistaa sen että koneet eivät joudu turhaan odottamaan huoltoon pääsyä.

Lisäksi Patria Aviationin ja Ilmavoimien Lentokonekorjaamojen toimintatapojen suuret eroavaisuudet saattavat tulevaisuudessa aiheuttaa tarvetta niiden lähempään tarkasteluun. Sitä, onko niitä jatkossa mahdollista yhtenäistään, ei tässä tutkintotyössä ole tarkasteltu. Kuitenkin mahdollinen yhtenäistäminen saattaisi helpottaa huollon suunnittelua joten jatkossa asian tarkempi tutkiminen saattaisi olla hyödyllistä.

Lähteet

1. HN4-02S1, Määräaikaishuollot, Lentotekniikkalaitos, muutos 59, 6/2009
2. HN4-110-02S1, Rakennetarkastukset, Lentotekniikkalaitos, 11/2008
3. Toiviainen Jukka, Insinööriyö, F-18 Hornet -lentokoneen määräaikaishuoltojärjestelmien vertailu, Tampereen ammattikorkeakoulu, 1998
4. Excel-taulukko, Rakennetarkastukset ja työtunnit, Henry Paajanen, 2009
5. Keskustelut Henry Paajasen kanssa, 2009
6. LTJ-järjestelmä, Ilmavoimat, 2009