

GPS LOGGER –projektin toteutus



**TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
TAMPERE POLYTECHNIC**

Tampere 6.6.2005

Ville Kettula

Martti Pulakka

Heikki Aalto

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikka
Lentokonetekniikka

Tutkintotyö

Ville Kettula

GPS LOGGER –projektin toteutus

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2005

Yliopettaja Heikki Aalto
Suomen Ilmavoimat, valvojana DI Martti Pulakka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Lentokonetekniikka

Kettula, Ville

GPS LOGGER -projektin toteutus

Tutkintotyö

71 sivua + 22 liitesivua

Työn ohjaaja

Yliopettaja Heikki Aalto

Työn teettäjä

Suomen Ilmavoimat, valvojana DI Martti Pulakka

Kesäkuu 2005

Hakusanat

GPS LOGGER, suunnittelu, olosuhdetestaus

TIIVISTELMÄ

Tässä tutkintotyössä käsitellään Instrumentointi Oy:n ja Suomen Ilmavoimien välisen tilauksen pohjalta tehtyä GPS–tekniikalla toimivaa ja sotilasilma-alukseen asennettavaa paikannuslaitetta. Tämän paikannuslaitteen kaupalliseksi nimeksi muodostui GPS LOGGER. Laite tuli suunnitella, valmistaa ja testata sotilasilma-alukseen asennettavien laitteiden vaatimusten ja spesifikaatioiden mukaiseksi. Työ toteutettiin projektiluontoisesti, jossa aikataulu oli suhteellisen tiukka.

Suunnittelussa ajauduttiin moniin ristiriitatilanteisiin, joihin ratkaisut pyrittiin hakemaan kaikkia osapuolia tyydyttävällä tavalla ja kaikin käytössä olevin keinoin. Suunnittelu aiheutti ennalta arvaamattomia toimenpiteitä, sekä valmistettujen GPS LOGGER -laitteiden toimitusaikataulua jouduttiin projektin aikana jatkamaan.

Ensimmäiselle valmistetuista GPS LOGGER -laitteista toteutettiin sotilasilma-alukseen asennettavalle laitteelle vaaditut toiminta- ja olosuhdetestaukset. Tulosten perusteella arvioitiin valmistetun laitteen toimintavarmuus sekä käyttökelpoisuus lentokoneympäristöä vastaavissa olosuhteissa. Testaustulosten perusteella yllätyttiin positiivisesti siitä, miten GPS LOGGER suoriutui vaativista olosuhteista. Testauksien jälkeisten pienten muutosten jälkeen GPS LOGGER voitiin hyväksyä sille määriteltyyn käyttöön.

Suunnittelu- ja valmistusprojekti onnistui hyvin, vaikkakin aikatauluun tuli muutoksia sekä GPS LOGGERin suunnittelussa jouduttiin tekemään monia kompromisseja. Lopputuloksen perusteella BAe Hawk Mk 51/51A – lentokoneeseen suunnitellun- ja asennetun GPS–järjestelmän kehittäminen sekä tulevaisuuden projektit ovat mahdollisia.

TAMPERE POLYTECHNIC

Mechanical and Production Engineering

Aeronautical Engineering

Kettula, Ville

Realization of the GPS LOGGER project

Engineering Thesis

71 pages + 22 appendices

Thesis Supervisor

Heikki Aalto (Head of Department)

Commissioning Company

Finnish Air Force, Supervisor M.Sc Martti Pulakka

June 2005

Keywords

GPS LOGGER, design, environmental testing

ABSTRACT

This thesis takes account how Instrumentointi Oy has designed and manufactured electronic equipment that will be installed the Finnish Air Force military aircraft. This equipment will display geographical location of the aircraft using GPS technology. During the design process equipment was named GPS LOGGER. Design, production and tests of the GPS LOGGER had to be made using military standards, because final assembly and use of the product was aimed to be in military aircraft. This design and manufacturing case was accomplished as a project with very tight time schedule.

During design phase came out numerous disagreements, which had to be solved by using different solutions. Because of tight time schedule the project was quite difficult to handle and lead to some radical changes in the project planning which stretched the original time schedule.

The first manufactured GPS LOGGER unit undertook specified functional and environmental tests according to military specifications. Results of the tests indicated that the GPS LOGGER meets the requirements of military aircraft specifications. Results of the tests were quite positive. After tests original design of the GPS LOGGER needed only few little modifications before final assembly into the aircraft.

The design and manufacturing project was success, however the time schedule stretched and some compromises and modification were made to the original design. This leads to conclusion that future projects are open to further develop the GPS systems for BAe Hawk Mk 51/51A aircraft.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO	5
LYHENTEET JA AVAINKÄSITTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 GPS YLEISESTI.....	8
3 GPS LOGGER -PROJEKTIN TAVOITTEET	9
4 GPS LOGGER -PROJEKTIN LÄHTÖTIEDOT	12
4.1 001-proto	13
4.2 Projektihenkilöt	14
4.3 Asiakkaan vaatimukset.....	15
4.4 Asiakkaan velvollisuudet.....	15
5 GPS LOGGER -PROJEKTIN HALLINTA.....	16
5.1 Työnjako	16
5.2 Dokumentit	17
5.3 Yhteydenpito	20
5.4 Kehityskohteet.....	21
6 GPS LOGGERIN SUUNNITTELU	22
6.1 Vaatimukset.....	27
6.2 Menetelmät	27
6.3 Mekaniikka	29
6.4 Elektroniikka	43
7 GPS LOGGERIN TESTAUSSUUNNITELMA.....	45
7.1 Vaatimukset.....	46
7.2 Testaussuunnitelman testauskohteet.....	47
8 GPS LOGGERIN VALMISTUS	53
9 TESTAUSSUUNNITELMAN MUKAISET TESTAUKSET JA TULOKSET.....	56
10 VALMIS GPS LOGGER.....	65
11 GPS LOGGERIN JATKOKEHITYS	67
12 YHTEENVETO	68
LÄHDELUETTELO	69
LIITTEET	71

LYHENTEET JA AVAINKÄSITTEET

Mk. 51/51A Hawk	Ilmavoimien harjoitushävittäjä
GPS	Global Positioning System
ALS	Instrumentointi Oy:n osasto Avionics & Logistic Support
Flash –muisti	Elektroninen muisti, jota voi päivittää
uPatch02	Fastrax Oy:n valmistama GPS–moduuli
GPS LOGGER	GPS–dataa tallentava laite
PDR	Projektin yleissuunnitteluvaiheessa pidettävä katselmus (Preliminary Design Review)
CDR	Projektin suunnitteluvaiheen päättävä katselmus (Critical Design Review)
TSR	Projektin testausvaiheen tilannetta arvioiva katselmus (Test Status Review)
RRR	Projektin julkaisuvaiheen päättävä katselmus (Release Readiness Review)
MS	Military Standard
Risukasaversio	0-sarjan GPS LOGGERin prototyyppi
D9P–liitin	Standardi 9-kontaktinen D–liitin
TRIG	GPS LOGGERista saatava aikatahdistus
RF	Radio Frequency
LEMO–liitin	GPS LOGGERin vastaliitin lentokoneen verkostolle
TOP	Lentokoneesta saatava aikatahdistus
dB/oct	Vaimennusyksikkö (desibeliä/oktaavi)
G ² /Hz	Spektritiheyden arvo

1 JOHDANTO

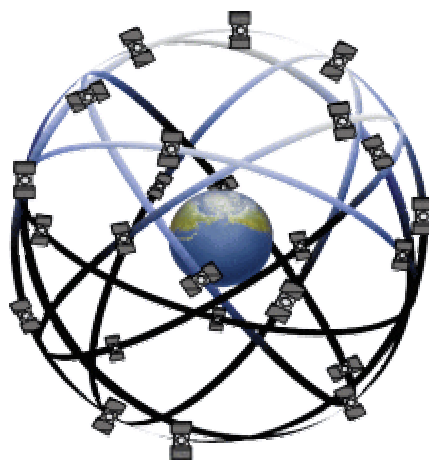
Nykypäivän ilmailussa on erittäin tärkeää tietää, missä lentokoneella lennetään ja lentotehtävän päätyttyä, missä on lennetty. Nämä kaksi asiaa ovat tärkeitä esimerkiksi lentoturvallisuudessa sekä sen kehittämisessä. Tallennetusta lentoradasta on ohjaajakoulutuksessa, koelentotoiminnassa sekä onnettomuustilanteessa äärettömän suuri apu. Siitä voidaan mahdollisimman tarkkaan määrittää mm. oppilaan suoritukset, koelentojen tulokset tai vaikka lentokoneen lentorata ennen onnettomuutta.

Monissa lentokoneissa on toki lentoarvojen tallennuslaite (mustalaatikko), mutta vasta uusimmissa tekniikan sovelluksissa on kehitytty niin pitkälle, että lentokoneen lentoarvot voidaan tallentaa selkeästi sekä tarkasti. Vanhemmissa sovelluksissa, kuten esimerkiksi Suomen Ilmavoimien käytössä olevissa Mk. 51/51A Hawk -harjoitushävittäjissä lentoarvojen tallennuslaite ei tallenna lennetyn lennon tietoja nykypäiväisten lentokoneiden tapaan.

Suomen Ilmavoimissa tuli ajatus käyttää nykyaikaista GPS-järjestelmää hyödyksi myös heidän harjoitushävittäjissään, joihin oli helposti suunniteltavissa nykyaikaisella tekniikalla varustettu GPS-vastaanotin. Instrumentointi Oy sai ilmavoimilta tilauksen, jossa he tilasivat GPS-vastaanottimen suunnittelun, testauksen sekä kaksi suunnittelun mukaista laiteyksilöä. GPS-vastaanottimen suunnittelu oli projektiluontoinen työ. Projektin luonteen, aikataulun ja työmäärän suhteen projektista muodostui myös erinomainen alaan liittyvä insinööriyön aihe.

2 GPS YLEISESTI

GPS on lyhenne sanoista Global Positioning System. Kyseessä on Yhdysvaltain puolustushallinnon (U.S. Department of Defence) ylläpitämä maata kiertävien satelliittien järjestelmä, joka on toiminnassa 24 tuntia vuorokaudessa. Kukin satelliitti lähettää yksilöllisiä radiosignaaleja. Kun maan pinnalla otetaan vastaan tällainen signaali, voidaan sen kulkuajasta laskea etäisyys lähettäneeseen satelliittiin. Kun paikannukseen käytettävän vastaanottimen "näkökentässä" on useita satelliitteja, voidaan samanaikaisten etäisyysmittauksien avulla määrittää yksikäsitteisesti mittauspisteen sijainti kolmiulotteisessa avaruudessa. Lisäksi radiosignaalin taajuussuirtymästä (ns. Doppler-suirtymä) voidaan laskea lähettäjän ja vastaanottajan nopeus toisiensa suhteen. GPS -järjestelmään kuuluu 24 aktiivisena olevaa satelliittia, jotka kiertävät maapalloa kuudessa ratatasossa (kuva 1). Yksi kierros kestää maan pinnalta katsottuna vajaan vuorokauden (23 tuntia 56 minuuttia). Satelliittien kiertoradat on järjestetty siten, että jokaisessa pisteessä maapallon pinnalla on jatkuvasti näkyvissä vähintään neljä satelliittia, vieläpä niin, että satelliittien geometrinen asema on suuntimisen kannalta hyvä (ts. satelliitit eivät ole liian lähellä toisiaan tai horisonttia). Periaatteessa neljäkin yhtä aikaa näkyvää satelliittia riittää tarkkaan paikantamiseen sekä vastaanottimen kellon tahdistamiseen, mutta käytännössä satelliitteja näkyy yleensä enemmän. Silloin paikannusvastaanotin voi joko valita neljä sopivinta satelliittia (helpoin ratkaisu) tai käyttää useampien satelliittien tietoja luotettavamman tuloksen saamiseksi. /21/



Kuva 1 Vasemmalla puolella GPS-satelliittien kiertoradat sekä oikealla puolella yksittäinen GPS-satelliitti /22/ /23/

GPS suunniteltiin aikanaan etupäässä sotilaallisia tarpeita varten. Siviileillekin päätettiin antaa rauhan aikana mahdollisuus käyttää satelliittijärjestelmää. Järjestelmän täysi tarkkuus varattiin kuitenkin sotilaiden yksinoikeudeksi. Lähete ja koko järjestelmän toimintaperiaate pohjautuu näennäissatunnaiseen hajaspektrisignaaliin. Aiemmin satunnaista tahallista virhettä lisättiin kaikille vapaaseen läheteeseen (C/A-koodi), mutta se poistettiin viime vuosituhaten vaihteen jälkeen. Salausavaimen ja vastaavien laitteiden avulla voidaan käyttää ns. P-koodia, jonka signaalin rakenne on erilainen (mm. kaksi radiotaajuutta, pidempi satunnaisavain, suurempi kellotaajuus), joka mahdollistaa paremman tarkkuuden. Useimmilla GPS:n käyttäjillä ei tietenkään ole valtuutusta salauksen purkamiseen, joten salauksen kiertävien järjestelmien kehittäminen on monien intressissä. Teknisesti se onnistuu, ja etenkin differentiaali-GPS on saavuttanut suuren suosion. Tarvittavat laitteet vain ovat jonkin verran kalliimpia. /9/ /21/

3 GPS LOGGER -PROJEKTIN TAVOITTEET

Tässä osassa käsitellään koko projektin tavoitteet niin asiakkaan kuin ALS:n näkökulmasta. Lopuksi esitellään vielä projektin tuottamat lopputuotteet, jotka toimitettiin asiakkaalle.

Asiakkaan kannalta

Tämän tutkintotyön asiakkaana on Suomen Puolustusvoimat, ja tarkemmin Ilmavoimien Lentotekniikkalaitos. Se kiinnostui jo siviili-ilmailussa käytössä olevasta GPS LOGGER -paikannuslaitteesta, joka tallentaa paikka- ja aikatieta omaan Flash-muistiin. Siviili-ilmailussa saman toimintaperiaatteen omaavaa GPS LOGGER -paikannuslaitetta on käytetty tähän mennessä lähinnä joissakin purjelentokoneissa. Osassa näistä purjelentokoneista GPS-vastaanottimien vastaanotinmoduuli on Suomalaisen Faxtrax Oy:n kehittelemä ja valmistama. Ideana Lentotekniikkalaitoksella olikin kehittää samanlaisesta Fastrax Oy:n GPS-vastaanotinmoduulista laite, joka voitaisiin asentaa Suomen Ilmavoimien käytössä oleviin Mk. 51/51A Hawk harjoitushävittäjiin. Mk. 51/51A Hawk-harjoitushävittäjien puutteena on aina ollut lennetyn lentoradan määrittäminen, jota

voitaisiin tallentaa ja analysoida myöhemmin lennon jälkeen. Suunniteltavasta GPS LOGGER -laitteesta saataisiin tämän päivän tekniikalla suhteellisen helposti tarvittavat tiedot lennetyistä lentoradasta, joka aiemmin Mk. 51/51A Hawk -harjoitushävittäjiä ostettaessa Suomen Ilmavoimille ei ollut edes mahdollista. (Kuva 2).



Kuva 2 Suomen ilmavoimien BAe Mk. 51/51A Hawk -harjoitushävittäjä /24/

Lentotekniikkalaitos teki tarjouspyynnön Instrumentointi Oy:lle kyseisen GPS LOGGER -laitteen suunnittelusta sekä valmistuksesta. Kyseistä GPS LOGGER -laitetta tulnaisiin valmistamaan tilauksen perusteella kaksi 0-sarjan kappaletta (sarjanumerot 002 ja 003), joista sarjanumero 002:lle tehtäisiin asiakkaan määrittelemät tarkastukset ja olosuhdetestaukset. 0-sarjan GPS LOGGER -laitteita tulnaisiin käyttämään koelentotietojen analysointien lisänä ja tukena. Lentotekniikkalaitoksen tavoitteena oli saada molemmat (002 ja 003) 0-sarjan GPS LOGGER -laitteet käyttöön huhtikuun 2005 loppuun mennessä. /10/

Katsottaessa GPS LOGGER -laitetta lento-onnettomuustutkinnan kannalta todetaan, että tietyissä tapauksessa suunniteltavasta GPS LOGGER -laitteesta voisi olla suuri hyöty. GPS LOGGER -laitteen ennalta määritellyt asennuskohde lentokoneessa on kuitenkin niin kriittisessä paikassa lento-onnettomuutta ajatellen,

ettei se välttämättä säily ehjänä, jotta siitä saataisiin tarvittavat lentorata- ja aikatieidot tallennettua ja sitä kautta analysoitua.

Instrumentointi Oy:n kannalta

Instrumentointi Oy:n Avionics & Logistic Support -osaston pitkä ja vahva osaaminen lentokonelaitteiden huollossa ja kehitystehtävissä sekä vankka yhteistyö Suomen Puolustusvoimien kaluston huoltotoiminnan kanssa avasi mahdollisuuden GPS LOGGERin suunnittelulle Instrumentointi Oy:n ALS -osastolle. GPS LOGGERin suunnittelu toteutettiin ALS-osaston Teknisen Tukitoimiston toimesta projektiluontoisena työnä. /4/

Projektin tarjouksessa Instrumentointi Oy pyrki jaottelemaan projektin kolmeen eri laskutettavaan moduuliin (Mod), jotta projektin aikana saatavat valmiit osiot voitaisiin laskuttaa erillisinä moduuleina, ja tällöin laskutusvirta olisi tasainen. Ilman osa-aikaisuustyöskentelyäni kouluni ohella aikataulus projektin toteutuksen kannalta olisi voinut tuoda ongelmia työntekijöiden sekä muiden Teknisen Tukitoimiston töiden suhteen, koska työmäärä toisilla osapuolilla oli jo ennestään täynnä. Lentotekniikkalaitos lähetti tarjouksen vastauksena tilauksen, jossa asiakas oli muuttanut Instrumentointi Oy:n tarjoamat kolme eri moduulia kahdeksi eri moduuliksi. Se ei kuitenkaan haitannut, koska Instrumentointi Oy:n tarjoama Mod2 oli siirretty Mod3:n lisäksi. Tämän seurauksena ”Mod2:lle” jäi joustavampi aikataulu. Koko projektin työmäärä sisältäen suunnittelun, testaukset ja valmistuksen oli suunniteltu toteutettavaksi noin 650 työtunnilla, joista noin 150 tuntia kuului valmistukselle. /4/ /11/ /12/

Instrumentointi Oy:n uuden lentokonelaitteen suunnittelun ja valmistuksen myötä avautuu myös mahdollisuus kyseisten laitteiden elinkaaren hallintaan. GPS LOGGER -laitteessa tulee olemaan mekaniikkaa ja elektroniikkaa, joka lentokonekäyttöön hyväksytyssä laitteessa tarkoittaa, että laitteelle on tehtävä testaus- ja huoltosuunnitelma. GPS LOGGER voi myös vikaantua inhimillisen virheen tai normaalin vikaantumisen vuoksi. GPS LOGGER -laitteen huoltovastuu, joka sisältää tarkastukset, vikakorjaukset, modifikaatiot ja testaukset, voitaisiin

tulla suorittamaan Instrumentointi Oy:ssä, koska laitteesta on suunnittelun ansiosta parhaat käsitykset sekä tiedot.

GPS LOGGER -laitteen suunnittelussa huomioitavaa oli, että valmiita GPS LOGGER -laitteita tilattiin Lentotekniikkalaitoksen toimesta vain kaksi (2) kappaletta, mutta Suomen Ilmavoimien omistamien Mk. 51/51A Hawk -harjoitushävittäjien määrä oli kuitenkin kymmeniä. Jotta päästiin käytännön kokemuksista johtuen parhaaseen mahdolliseen tuottavuuteen pidempää ajanjaksoa ajatellen, oli otettava huomioon, että kyseisiä GPS LOGGER -laitteita voitaisiin tulla asentamaan tulevaisuudessa myös muihin Mk. 51/51A Hawk -harjoitushävittäjiin. GPS LOGGER -laitteen suunnittelussa oli kuitenkin kyseessä ainoastaan ”protosarjan” valmistus, joten rahoituksen ollessa rajallinen sekä tarkasti tehtäviin sidottu ei siihen kuitenkaan kannattanut panostaa liikaa.

Projektisopimuksessa määritellyt lopputuotteet:

Dokumentit:

- Suunnitteludokumentit
- Testaussuunnitelma

Laitteet:

- 1 kpl 0-sarjan GPS-vastaanotin, jolle on suoritettu vaatimusmäärittelyn mukaisen testaussuunnitelman ohjeistamat olosuhde- ja toimintatestaukset. /3/
- 1 kpl 0-sarjan GPS-vastaanotin, jolle ei ole suoritettu vaatimusmäärittelyn mukaisen testaussuunnitelman ohjeistamia olosuhde- ja toimintatestauksia. /3/

4 GPS LOGGER -PROJEKTIN LÄHTÖTIEDOT

Jotta projekti sai alkunsa, oli sille oltava jonkinlaisia lähtötietoja. Lähtötietoja saatiin pääasiassa asiakkaalta, mutta erityyppisiä asioita jouduttiin tutkimaan myös ALS:ssa. Itse projektin käynnistäminen vaati myös paljon esijärjestelyjä ALS – osaston sisällä.

4.1 001-proto

Asiakas oli itse tehnyt kokeiluja Fastrax Oy:n uPatch02 GPS-vastaanotinmoduulilla asentamalla sen muovikoteloon tarvittavien sähkönsyötön ja käyttökytkimien kanssa (kuva 3). Sen jälkeen muovikotelo oli asennettu Mk. 51/51A Hawk -harjoitushävittäjään sille määritetyille paikalle. Asennuspaikka sijaitsee takaohjaamon tähtäimen yläpuolella olevassa peitelevyssä. Asennuksen jälkeen koelentohenkilöstö lensi muutaman koelennon, jonka aikana uPatch02 GPS-vastaanotinmoduulin keskimääräinen toimivuus todennettiin. /13/



Kuva 3 Asiakkaan tekemä 001-proto /8/

Koelentojen perusteella henkilöstö pystyi arvioimaan, että kyseinen GPS - vastaanotinmoduuli voisi tuottaa tarvittavia lentotietoja lentokonekäyttöön soveltuvan elektroniikan ja kotelarakenteen ansiosta. Valmis uPatch02 GPS-vastaanotinmoduuli näytti kuitenkin kovin heikkorakenteiselta, joten sen kestävyyttä lentokoneolosuhteissa pitkällä ajan jaksolla epäiltiin niin asiakkaan kuin Teknisen Tukitoimistonkin puolella. Koelentotuloksien ja tarvittavien lentotietojen saamiseksi Lentotekniikkalaitos päätti kuitenkin aloittaa GPS

LOGGER -laitteen kehittelyt ja antoi vastuun siitä tilaustyönä Instrumentointi Oy:lle. /13/

4.2 Projektihenkilöt

Jotta pystyttiin määrittämään projektin aikataulu, oli tärkeimpänä tehtävänä ensiksi määrittää tarpeeksi teknisiä toimittajia sekä suunnittelijoita käyttäen apuna valmistusosaston henkilökuntaa tarpeen mukaan. Asiakkaan puolelta tiiviissä yhteistyössä Instrumentointi Oy:n henkilöstön kanssa tuli olemaan kolme (3) henkilöä: kaksi suunnitteluinsinööriä sekä laadunhallinnan henkilö. Nämä kolme henkilöä olivat olleet alun perin suunnittelemassa ja ideoimassa GPS LOGGER -laitetta, jonka Instrumentointi Oy oli tämän projektin myötä saanut suunniteltavaksi ja valmistettavaksi. /4/

Ainoastaan osa Instrumentointi Oy:n Avionics & Logistic Support -osaston henkilöstöstä tuli suoranaisesti tekemisiin GPS LOGGER projektin kanssa. Tekninen Tukitoimisto hallitsi projektin kulkua sekä suunnitteli GPS LOGGER -laitteen yhdessä valmistusryhmän ja osaksi myös asiakkaan kanssa. GPS LOGGER -projektin toteuttamisessa hyvin suureen rooliin ALS osastolta pääsi myös laatu- sekä materiaali-osaos.

GPS LOGGER -projektin toteuttamisessa tuli olemaan myös lukuisa joukko muita henkilöitä, joilta tarvittaessa pyydettiin neuvoja sekä kommentteja työn edistymiselle. Tärkeinä kyseisinä henkilöinä toimivat mm. koelentäjät ja koelentoinsinöörit, jotka loppujen lopuksi tulivat GPS LOGGER -laitteen kanssa eniten tekemisiin.

4.3 Asiakkaan vaatimukset

Asiakkaan vaatimukset voitiin lyhykäisyydessään lukea tilauksesta: siinä asiakas oli määritellyt tuotteet, jotka tuli luovuttaa toimituspäivämäärään mennessä. Tilauksessa oli myös määritelty sopimukset, joita tultiin projektin aikana noudattamaan. Jos projektin aikana ilmeni ristiriitatilanteita, voitiin nojautua sopimukseen, joihin molemmat osapuolet olivat sitoutuneet. /12/

4.4 Asiakkaan velvollisuudet

Asiakkaan tuli osallistua tarvittaessa ALS:n tarpeellisiksi katsomiin testaustoimenpiteisiin tai varmistaa, että ALS:lla on käytettävissä GPS-vastaanottimen toiminnalliseen testaukseen tarvittavat testausvälineet erikseen sovitun ja hyväksytyt tarpeen mukaan. /4/

Tilauksen mukaan asiakkaan velvollisuutena oli toimittaa Instrumentointi Oy:lle tiettyjä materiaaleja, jotka he olivat hankkineet jo etukäteen. Kyseiset materiaalit olivat lähinnä GPS LOGGERin lentokoneasennukseen tarvittavia mekaanisia osia, joita laitteen suunnittelu ensisijaisesti vaati. Myös Faxtrax Oy:n valmistamat uPatch02 GPS-vastaanotinmoduulit toimitettiin suoraan Lentotekniikkalaitoksen kautta. Tilauksen mukaiset materiaalit on esitetty seuraavassa: /12/

- 2 kpl Upatch02 GPS-moduuli
- 1 kpl Upatch02 liityntäkaapeli
- 1 kpl tähtäinkameran pidin
- 1 kpl peitelevy
- 4 kpl peitelevyn ruuvit
- 4 kpl välilevy
- 2 kpl MIL-liitin

GPS LOGGERin valmistuksessa oli käytettävänä myös kaikki ALS:n materiaalivarastossa olevat Ilmavoimien materiaalit, jotka mahdollisesti olisi olleet suunnitteluun ja valmistukseen sopivia.

5 GPS LOGGER -PROJEKTIN HALLINTA

Projektin hallinnassa sekä kaikissa projektin toiminnoissa toimittiin ALS:n sisäisten menettelytapaohjeistusten mukaisesti, joissa ohjeistetaan laitteen suunnittelun ja valmistuksen sekä dokumentoinnin hallinnan toimintamallit ALS – osastolla. Lopullisen hyväksynnän tämän projektin tuotteille antoi ilmailuviranomainen. Projektin ilmailuviranomaisena toimi Lentotekniikkalaitoksen laatu- ja lentokelpoisuus toimisto.

5.1 Työnjako

Projektiin suoranaisesti osallistuvat henkilöt ja työryhmät tuli nimetä projekti- ja laatusuunnitelmaan (taulukko 1). Nimen perään liitetty työorganisaatiossa käytetty lyhenne. /4/

Taulukko 1 Projektin osallistujat /4/

Tehtävä	Henkilö(t)
Projektipäällikkö	Ville Kettula (VKET)
Projektin valvoja	Jorma Penttilä (JPEN)
Ohjausryhmä	Ville Soininen, Jorma Penttilä, Jouko Korkola (JKOR) LentoTL:n edustajat Kari Jeskanen ja Martti Pulakka sekä LL-osaston edustaja Timo Rikkonen
Projektiryhmä / suunnittelu	Ville Kettula / mekaniikka ja testaus Pekka Salminen (PSAL) / elektroniikka
Projektiryhmä / valmistus	Juha Viilola (JVII) ja Marko Tapaila (MTAP)
Tukiryhmä	Materiaalit Raimo Lindahl (RLIN), tietojärjestelmät ja kirjaukset Margit Nieminen (MNIE)
Laatuvastaava	Jouko Korkola, tarkastukset Hannu Nieminen (HNIE)
Mittauslaitevastaava	Juoko Kurkisuo (JKUR)
Asiakkaan edustajat	Kari Jeskanen, Martti Pulakka ja Timo Rikkonen

5.2 Dokumentit

Projektin dokumentointi määräytyi käytettävistä sopimuksista, jotka määräisivät tietyt minimidokumentit, joita tuli päivittää ja tallentaa sitä mukaa, kun tuli muutoksia. Sopimukset määräisivät, että tärkeimpien tuli olla nähtävillä sekä sähköisessä muodossa että paperiversioina. Dokumentit voitiin jaotella kahteen eri alueeseen: /12/

- asiakkaan dokumentit
- ALS:n dokumentit.

Asiakkaan dokumentit eivät välttämättä olleet kaikki projektikansiossa, mutta työn toteuttajan, tässä tapauksessa Instrumentointi Oy:n dokumentit löytyivät kaikki projektikansiosta. Dokumenttien vanhoille versioille oli olemassa oma kansionsa, jossa oli nähtävillä kaikki dokumenttien vanhat versiot.

Paperiversiot kerättiin ns. projektikansioon, jossa kaikki dokumentit, sekä asiakkaan että työn toteuttajan, olivat ajan tasalla sekä nähtävillä. Projektikansiossa kaikki dokumentit olivat siistissä järjestyksessä, jolloin tarvittavien asioiden löytäminen helpottui huomattavasti, ja kaikki projektia tekevät henkilöt pystyivät käyttämään sitä helposti.

Kaikkien sähköisessä muodossa tehtyjen dokumenttien tuli olla myös sähköisessä arkistossa. Sähköistä arkistoa hallittiin ns. dokumenttien hallintaluettelolla, jossa kaikki sähköiset dokumentit olivat listattuna aikajärjestyksessä. Luettelossa esiintyi myös dokumenttien numero, versio, nimi, hyväksymispäivämäärä, dokumentin tekijä sekä linkki kansioon, jossa kyseinen dokumentti sijaitsi. /14/

GPS LOGGER -työn keskeisimpiä dokumentteja olivat:

- Tarjouspyyntö, tarjous ja
tilaus /10/ 11/ /12/
- Vaatimusmäärittely /3/
- Projekti- ja
laatusuunnitelma /4/
- Laatukortti /15/
- Katselmointipöytäkirjat
/16/
- Muistiot /13/
- Suunnittelu- ja
valmistusdokumentit
- Testaussuunnitelma
- Testauspöytäkirja
- Osaluettelot /17/ /18/
- Materiaalilaukset /19/

Seuraavassa on kerrottu lyhyesti mitä kukin yllä mainittu dokumentti piti sisällään:

Vaatimusmäärittelyssä asiakas määritteli GPS LOGGERin suunnittelussa huomioon otettavat asiat sekä määritteli, miten GPS LOGGERin tuli toimia. Vaatimusmäärittely oli tärkein dokumentti, jonka pohjalta GPS LOGGER -laitetta suunniteltiin. Monessa asiassa kuitenkin huomattiin, että vaatimusmäärittely oli puutteellinen tai virheellinen. Näissä tapauksissa otettiin yhteys asiakkaaseen ja pyrittiin saamaan asiaan oikea päätös. /3/

Projekti- ja laatusuunnitelman määritteli Instrumentointi Oy vaatimusmäärittelyn, tilauksen ja sen hetkisen tilanteen mukaan. Projekti- ja laatusuunnitelman tarkoituksena oli sisältää suunnitelma ohjausmenetelmille sekä projektin toiminnallisen laadun että aikataulun varmistamiseksi. /4/

Laatukortin tarkoituksena oli toimia ns. tarkastuskorttina, johon merkattiin suunnittelun ja laitevalmistuksen tarkastukset ALS:n huoltotoimintakäsikirjan mukaisin menetelmin. Laatukorttia täytettiin projektin etenemisen myötä projekti- ja laatusuunnitelman mukaisesti. /15/

Katselmointipöytäkirjoihin kirjattiin kunkin katselmoinnin huomiot, kehityskohdat sekä katselmointihenkilöstö. Katselmointipöytäkirjoja kirjattiin erilaisissa projektin vaiheissa mm. kokoukset, laaduntarkastukset ja dokumenttien hyväksynnät.

Seuraavassa on esitetty GPS LOGGER projektille suunnitellut katselmoinnit.
(Taulukko 2). /16/

Taulukko 2 GPS LOGGER -projektin katselmoinnit /4/

Vaihe	Vaatimukset	PDR	CDR	TSR	Toim.	RRR
Projektin suunnittelu	Laaditut määrittelyt	+	++	+J		
GPS LOGGER	Mekaniikka ja elektroniikka	+	++			
	Testaussuunnitelma		++			+J
	Suunnittelu- ja valmistusdokumentit		++			+J
Tarkastus 0-sarjan laitteille	Mekaaninen tarkastus			++H		
Toimintatestaus toiselle 0-sarjan laitteelle (003)	Olosuhdetestaukset			++H		
Toimitukset	Molemmat 0-sarjan laitteet				++H	
Projektin lopetus	Toimitukset tehty					++H
Merkkien selitykset: + = tarvittaessa, ++ = Pakollinen, H = Hyväksyntä, J = Julkaisu						

Muistioihin kirjattiin asiat, joita tuli ilmi esimerkiksi vierailuissa, testauksissa, kokouksissa sekä muissa tapahtumissa, joista oli aiheellista panna asioita muistiin. Suunnittelu- ja valmistusdokumenteissa esiteltiin kaikki suunnittelussa ilmenneet asiat ja GPS LOGGER -laitteen valmistukseen tarvittavat kuvat ja huomiot. Suunnittelu- ja valmistusdokumenttien perusteella valmistusryhmä valmisti 0-sarjan GPS LOGGER -laitteet. Testaussuunnitelmassa tulivat esiin kaikki ne asiat, jotka oli otettava huomioon GPS LOGGER -laitteen testauksessa. Testaussuunnitelmassa kerrottiin, kuinka GPS LOGGERin testaukset tulee tehdä, jotta testaustulosten perusteella GPS LOGGER voitiin hyväksyä lentokelpoiseksi laitteeksi. Testaussuunnitelman tukena oli testauspöytäkirja, johon kirjattiin kaikki testauksen aikana tulleet tulokset sekä huomiot. Osaluetteloita oli kaksi erilaista kappaletta. Toisessa osaluettelossa esitettiin kaikki mekaaniset osat, joista GPS LOGGER muodostui ja toisessa osaluettelossa esitettiin kaikki sähköiset osat ja komponentit, joista elektroniikka muodostui. /13/ /17/ /18/ /7/

5.3 Yhteydenpito

Erittäin tärkeänä osana projektin etenemisessä oli vahva yhteydenpito asiakkaan kanssa. Ilman tiivistä yhteistyötä projekti olisi ollut mahdotonta viedä loppuun. Asiakkaan kanssa yhteydenpito oli helppoa ja vaivatonta, koska asiakkaan edustajat olivat hyvien yhteyksien päässä ja he olivat erittäin yhteistyöhaluisia. Erittäin monet GPS LOGGERin suunnitteluun vaikuttavat asia muuttuivat projektin edetessä moneen kertaan, sekä asiakkaan laatimassa vaatimusmäärittelyssä olevat tiedot eivät aina sopineet yhteen suunnittelun kanssa. Näiden asioiden johdosta olisi ollut mahdotonta edetä projektissa ilman yhteydenpitoa. Yhteydenpidolla saatiin aikaan suunnittelun osalta monia kompromisseja, jotka veivät projektia eteenpäin. Yhteydenpitoa asiakkaan kanssa käytiin pääsääntöisesti puhelimen, sähköpostin, kokouksien ja satunnaisten vierailujen välityksellä.

Yhteyttä pidettiin myös monien muiden tahojen kuin ainoastaan GPS LOGGER - projektin asiakkaan kanssa. Osa materiaaleista tilattiin eri yrityksiltä ja maahantuojilta, sekä erilaisia tietoja piti kerätä, jotta projektissa päästiin eteenpäin. Näissäkin tapauksissa yhteydenpito oli välttämätöntä. Yhteydenpidossa parhaimpina apuvälineinä toimivat puhelin sekä sähköposti.

Kokouksia ja palavereja pidettiin projektisuunnitelman mukaisesti asiakkaan kanssa, mutta muutama satunnainen palaverikin oli välillä tarpeen. Kokouksissa käsiteltiin ennalta määriteltyjä aiheita aikataulun mukaisesti, jolloin saatiin kaikki hyöty käyttämästämme ajasta, ja asiakokonaisuudet pysyivät hyvin hallinnassa. Kokouksissa pyrittiin tekemään mahdollisimman paljon päätöksiä ja suunnittelun kompromisseja. Kokouksissa oli sen hetkisen projektinkulun kannalta tarvittava henkilöstö aina paikalla, ja silloin päätökset olivat huomattavasti helpompia tehdä, sekä kaikki saivat kertoa oman mielipiteensä asiasta. Koska opiskelin osan viikoista koululla ja vain muutamia päiviä viikosta pystyin työskentelemään työpaikalla, otti oma matkapuhelimeni käyttö suuren roolin projektin hallitsemisessa. Viimeisen kahden kuukauden aikana pystyin olemaan työpaikalla keskimäärin neljä päivää viikosta, ja siinä suhteessa projektin hallitseminen kävi hieman sujuvammaksi.

Oman projektihenkilöstöni kanssa yhteydenpito asiassa kuin asiassa oli erittäin sujuvaa, eikä asioita ns. haudottu, vaan tiedonkulku sujui muutamaa alkukangertelua lukuun ottamatta hienosti. Projektin alkuvaiheessa tiedonkulku oli hieman hidasta, mikä johtui projektipäällikön vaihdosta työtilanne- ja aikatauluvaikeuksien vuoksi.

5.4 Kehityskohteet

Kohdassa 7.2 esitetyn Koelentokeskuksessa tehdyn vierailun ja GPS LOGGERin koeasennuksen perusteella suunnittelun osalta huomattiin, että vierailu olisi pitänyt suorittaa paljon aikaisemmassa vaiheessa, jotta suunnittelun muutoksiin olisi voitu puuttua aiemmin. Kun puhutaan lentokonelaitteen suunnittelusta ei yksi koeasennus laitteen ”proto”-vaiheessa voi riittää vaan, tarvitaan enemmän vierailuja lentokoneympäristössä sekä käyttäjien kommentteja ja ajatuksia, miten laitetta voitaisiin kehittää. Tässä projektissa ensimmäinen vierailu Koelentokeskukseen piti tehdä kuukautta aiemmin kuin se sitten lopuksi toteutui, mutta kyseistä vierailua ei käytännön syistä pystytty kuitenkaan järjestämään. Tämä aiheutti noin kuukauden viivästymisen koko projektin loppua ajatellen.

Tietokonepohjainen 3D-suunnittelu olisi voinut parantaa osaltaan komponenttien osasijoittelun mallinnusta siinä määrin, että komponentteihin tulleilta päällekkäisyyksiltä oltaisiin voitu välttyä tai ainakin vähentää niitä. GPS LOGGERissa oli kuitenkin sen verran vähän komponentteja, että aika, joka päällekkäin menneiden komponenttien korjauksessa käytettiin, olisi mennyt ainakin kaksinkertaisena 3D-mallinnuksen tekemiseen. Toisaalta GPS LOGGERin pienen fyysisen koon perusteella komponenttien välit toisiinsa nähden eivät olleet suuria, ja tämän perusteella 2D-suunnittelussa käytettiin hieman enemmän aikaa kuin mitä yhdistetyssä 2D- ja 3D-suunnittelussa 2D-osioon olisi tullut käytettyä.

ALS:n päätoiminta-alue on lentokoneen avioniikkalaitteiden huoltotoiminta, ja siitä syystä ALS:n toiminnot sekä kokemukset eivät tue suunnittelua ja projektin hallintaa parhaalla mahdollisella tavalla. Tällä hetkellä Instrumentointi Oy:ssä toteutettavat organisaation muutosajatuksukset tulevat huomattavasti parantamaan edellä mainittuja puutteita.

6 GPS LOGGERIN SUUNNITTELU

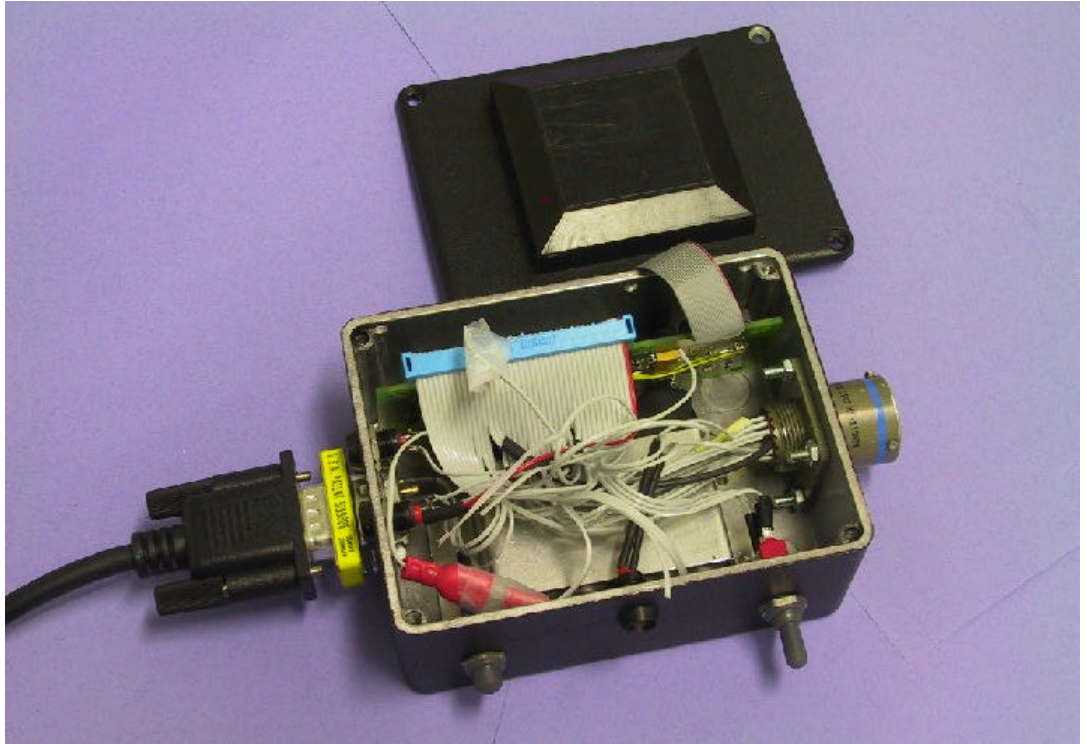
Tämän osan tarkoituksena on kertoa, miten 0-sarjan GPS LOGGER käytännössä suunniteltiin, ja miksi erilaisiin ratkaisuihin päädyttiin. GPS LOGGERin eri materiaalit ja komponentit on eritelty jokainen omaan otsikkoonsa, ja tällä tavalla asiakokonaisuudet pidetty erillään toisistaan.

Yleistä

Lentokoneeseen asennettavan laitteen suunnittelussa on otettava huomioon erittäin monia eri tekijöitä, joita ei välttämättä ”normaalin” laitteen suunnittelussa tule ajatelleeksi. Toisin kuin ”normaalin” laitteen kehittämisessä, on lentokonelaitteen suunnittelussa otettava huomioon erityiset lentokonelaitteille määritellyt standardit ja spesifikaatiot. Nämä standardit ja spesifikaatiot eritellään vielä osaksi siviili-ilmailun ja sotilasilmailun mukaan. Lentokonelaitteen suunnittelussa nämä määräykset ja vaatimukset ovat huomattavasti kattavammat ja tiukemmat kuin ”normaalin” laitteen suunnittelussa.

GPS LOGGER -laitetta suunniteltaessa siltä osin, kuin se oli mahdollista, käytettiin MIL–standardeja (Military Standard), koska laite tuli asennettavaksi sotilaslentokoneeseen ja se on käytössä sotilasilmailussa. GPS LOGGER -laitteen kaikissa suunnittelun vaiheissa ei päästy täydelliseen MIL–standardien käyttöön, johtuen eräistä komponenteista ja materiaaleista. Tämä oli kuitenkin hyväksyttävää, koska todensimme kyseisten komponenttien ja materiaalien sopivuuden erityyppisillä testauksilla. ALS:n laatuosasto tarkasti kyseiset testaukset ja tulokset sekä asiakas hyväksyi myös muutokset. (Liite 5).

GPS LOGGERin suunnittelun avuksi valmistettiin ns. ”risukasaversio” suunniteltavasta laitteesta, jonka avulla hahmoteltiin osakokonaisuutta sekä pystyttiin testailemaan laitteen toiminnallisia ominaisuuksia. ”Risukasaversiota” päivitettiin sitä mukaa kuin suunnitteluun tuli muutoksia. (Kuva 4).



Kuva 4 GPS LOGGERin suunnittelun ”risukasaversio”

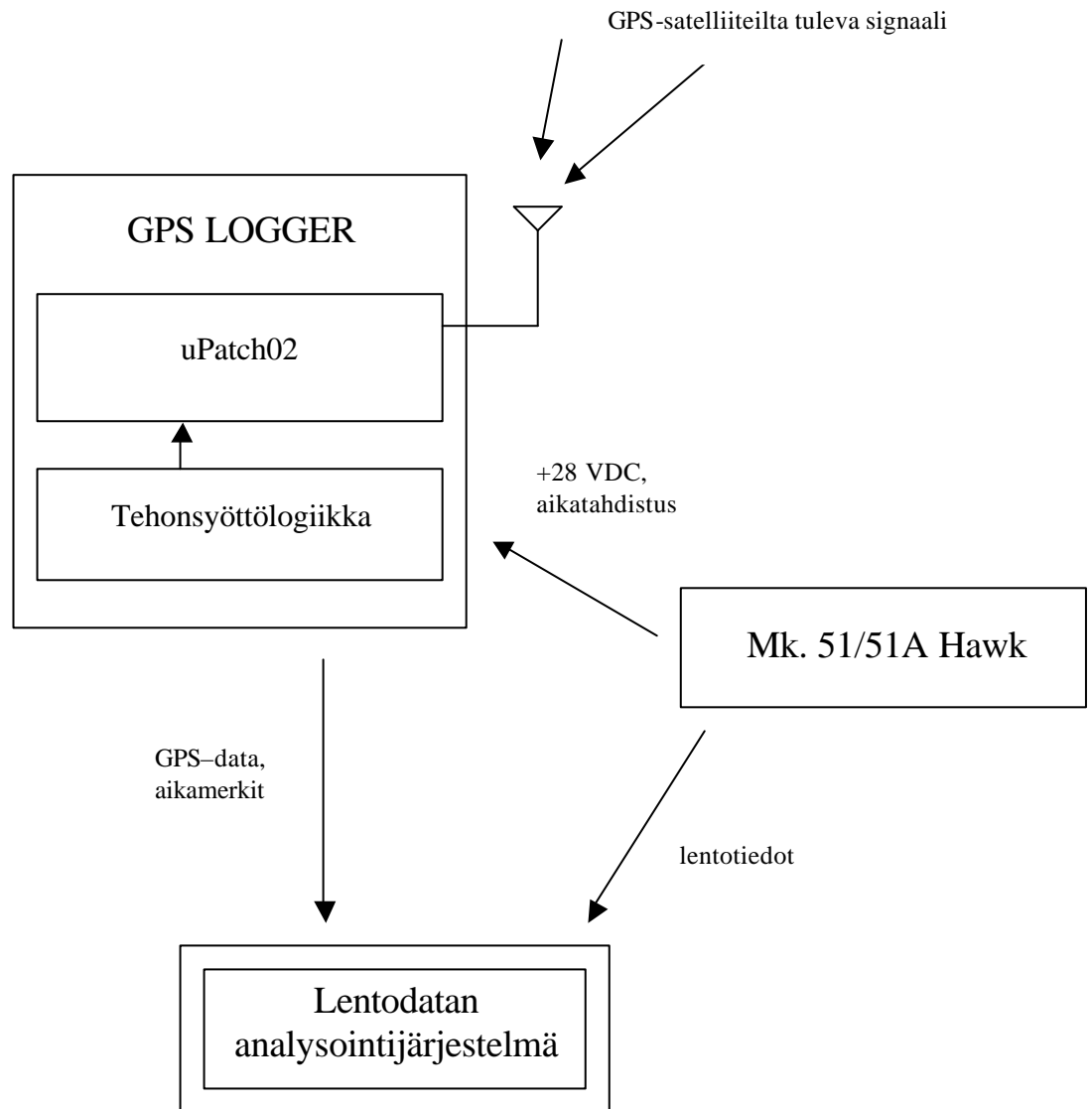
GPS LOGGERin suunniteltu toimintaperiaate:

0-sarjan GPS LOGGERin tehtävänä on olla Mk. 51/51A Hawk:n koelentojärjestelmän tukena sekä tallentaa lentokoneella lennetyn lentoradan paikka- ja aikatieta GPS LOGGERin omaan Flash-muistiin. GPS LOGGERilla saadut paikka- ja aikatieta voidaan siirtää maa-aseman tietokoneelle ja analysoida saatuja tietoja. uPatch02 GPS-vastaanotinmoduuli voi tallentaa GPS-satelliittien lähettämien signaalien perusteella erilaisia tietoja, jotka on esitetty seuraavassa: /3/

- Paikkatieta suhteessa määriteltyihin leveys- ja pituuspiireihin (Latitude and Longitude)
- Korkeustieto
- UTC –aika (Coordinated Universal Time), joka on atomikellojen avulla laskettu standardi maailman aika
- Paikka-, aika- ja korkeustiedon perusteella määritelty liikkeen nopeus vaaka- ja pystysuunnassa
- GPS –satelliittien signaalitasojen voimakkuustieto (Fix Quality Information).

/3/

Seuraavassa on esitetty pääpiirteittäin, kuinka GPS LOGGER toimii Mk. 51/51A Hawkissa. (Kuva 5.)



Kuva 5 GPS LOGGERin toiminta Mk. 51/51A Hawk:ssa /3/

GPS LOGGERissa tuli olla kaksi liityntää: D9-sarjaportti sekä liitin lentokoneen verkostoon. D9-sarjaportin välityksellä GPS-moduulin Flash-muistiin tallennetut tiedot voitiin siirtää tietokonepäätteelle, sekä liittimen välityksellä GPS-moduuliin voitiin ajaa erilaisia käskyjä. Lentokoneen verkostoon liitettävän liittimen tarkoituksena oli tuottaa käyttöjännite lentokoneen verkostosta GPS LOGGERille, välittää aikatahdustustietoja lentokoneen järjestelmän ja GPS LOGGERin välillä sekä ladata GPS LOGGERin akkupaketti. /3/

Myöhemmin projektin edetessä lisättiin vielä GPS LOGGERin laitekotelon sisäpuolelle testausliitin, jonka välityksellä voitiin tehdä testauksia, ohjelmistolatauksia sekä ohjelmistotyhjennyksiä.

Etupaneelissa sijaitsevan keltaisen Light Emitting Diodein (LED) palaessa GPS – moduuli ei ole FIX-tilassa, jolloin GPS–moduuli ei saa satelliiteilta tarpeeksi vahvaa signaalia, joilla GPS–moduuli pystyisi määrittämään tarvittavia paikka- ja aikatietoja. Kun keltainen LED ei pala GPS LOGGER:n ollessa aktiivisena, saa GPS–moduuli tarpeeksi monelta satelliitilta signaalin, jonka perusteella GPS–moduuli pystyy määrittämään ja tallentamaan tarvittavat paikka- ja aikatiedot. (Taulukko 3.)

Taulukko 3 Keltaisen LEDin toiminta /3/

Keltaisen LED:n tila	GPS LOGGER:n toiminta
Palaa	Ei tarpeeksi hyvää yhteyttä satelliitteihin paikka- ja aikatietojen määrittämiseen
Ei pala	Tarpeeksi hyvä yhteys vähintään neljään (4) satelliittiin paikka- ja aikatietojen määrittämiseksi

GPS LOGGERissa tuli olla aikatahdistuskytkin (TRIG) sekä POWER-kytkin, joiden molempien tuli olla GPS LOGGERin etupaneelissa, jotta käyttäjä pystyisi käyttämään niitä helposti lennon aikana. /3/

TRIG–kytkin tuli toimia siten, että sitä painettaessa GPS–moduulin Flash–muistiin tuli painallushetkellä aikamerkintä, joka kertoi painallushetkellä olevan ajan UTC–aikana. /3/

POWER–kytkin tuli olla toteutettu joko yhdellä tai kahdella kytkimellä; mieluiten yhdellä, jotta komponenttien määrä ja paino saatiin minimoitua ja ns. ylimääräiset kytkimet poistettua. POWER–kytkimelle asetetut toimintovaatimukset (Taulukko 4.) /3/

Taulukko 4 POWER-kytkimen toiminta /3/

POWER- kytkimen asento	Toiminta verkostoliittimen ollessa kiinnitettynä	Toiminta verkostoliittimen ollessa irrotettuna
BATT	Ei toimintoa	GPS LOGGER kytkeytyy akkukäytölle ja vihreä LED syttyy
NORM	<p>Kun verkostoliitin liitetään kytkeytyy GPS vastaanottamaan signaalia</p> <p>Kun verkostoliitin irrotetaan kytkeytyy tehonsyöttö automaattisesti akuille ja vihreä LED syttyy</p> <p>Kun akkujen napajännite laskee arvoon 4,85 VDC syttyy punainen LED ilmaisemaan lataustarvetta</p> <p>Jos akkukäytössä napajännite laskee arvoon 4,22 VDC logiikka sammuttaa GPS LOGGER:n</p> <p>Akkujen lataus, jos +28 VDC kytketty lataus kontakteihin</p>	<p>GPS LOGGER akkukäytöllä ja vihreä LED palaa, jos kytkin on käytetty BATT-asennossa</p> <p>Kun akkujen napajännite laskee arvoon 4,85 VDC syttyy punainen LED ilmaisemaan lataustarvetta</p> <p>Jos akkukäytössä napajännite laskee arvoon 4,22 VDC logiikka sammuttaa GPS LOGGER:n</p>
OFF	<p>Akkukäytössä sammuttaa GPS LOGGER:n</p> <p>Jos +28 VDC tehonlähteenä OFF – asennolla ei vaikutusta toimintaan</p>	Sammuttaa GPS LOGGER:n

6.1 Vaatimukset

Suunnittelun pohjana käytetyt tiedot ja osaksi sotilaskoneille määritellyt yleiset vaatimukset on esitetty seuraavassa:

- GPS LOGGER Vaatimusmäärittely versio B, Lentotekniikkalaitos
- Mekel Series V-300A HUD/Gunsight –olosuhdetestausraportti No. W4542-081504 (Lämpötilatestaus)
- MIL-E-5400T kohta 3.2.24.6.1 (Iskutestaus)
- MIL-STD-810F 506.4 (Roiskevesisuojaus)
- MIL-STD-810F 514.5 (Satunnaistärinätestaus) /3/

6.2 Menetelmät

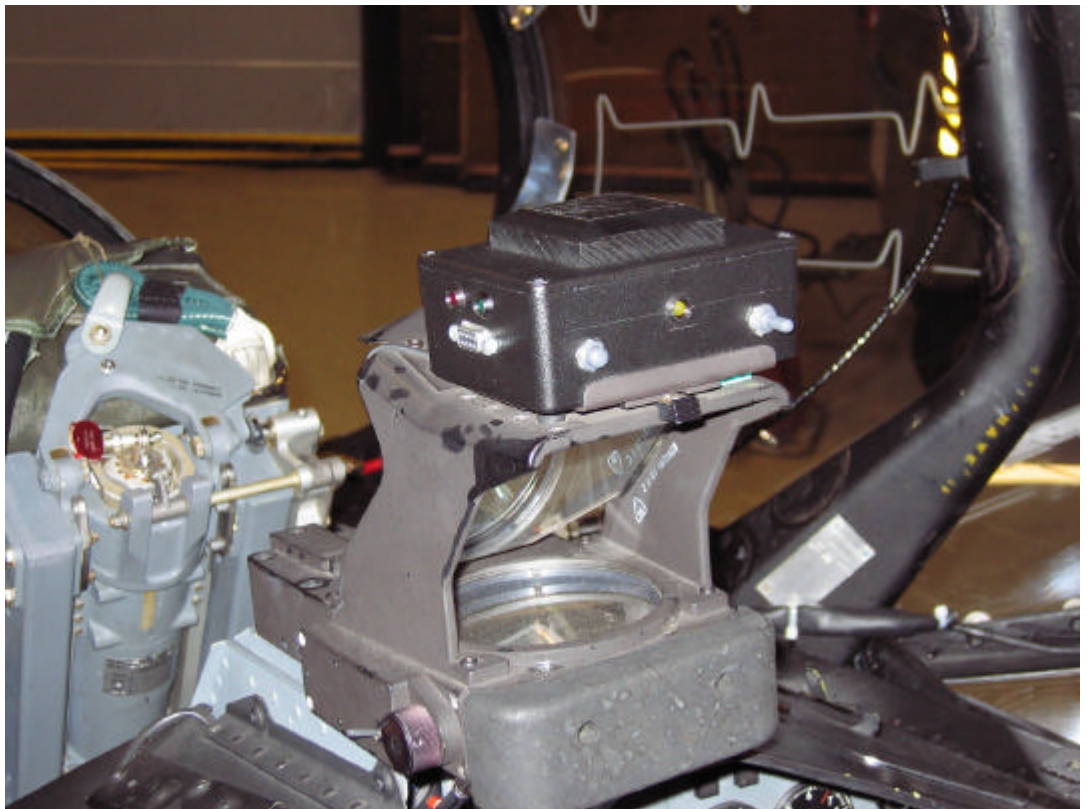
GPS LOGGERin suunnittelussa käytettiin apuna tietokoneohjelmia, joiden avulla eri suunnittelun kohdissa voitiin esimerkiksi todentaa ja testata elektroniikan sekä logiikan toimivuutta. Suunnitteluun käytettiin myös erilaisia tietokoneohjelmiin pohjautuneita rasiustestauksia, joiden avulla voitiin määrittää rakenteiden sekä elektroniikan sopivuutta suunniteltuun kokoonpanoon. Laitteen koteloon sijoitettujen komponenttien osasijoittelun suunnitteluun käsin paperille hahmotellut mallit auttoivat merkittävästi lopputuloksen luomisessa. Kun tultiin tilanteeseen, jolloin osasijoittelun hahmotelma oli suurin piirtein valmiina, voitiin sijoittelun tarkat paikat määrittää tietokoneen suunnitteluohjelmalla. Suunnittelu- ja piirto-ohjelmana käytettiin AutoCad-ohjelmistoa.

Elektroniikan suunnittelussa käytettiin siihen tarkoitettua ohjelmaa, jolla pystyttiin piirtämään kaikki piirikorttiin liittyvät suunnittelu- ja valmistusdokumentit. Suunnitteludokumentit voitiin lähettää alihankkijalle sähköisesti, jonka perusteella alihankkija valmisti pelkän piirilevyn ilman komponentteja.

Suunnittelun muutokset

Projektin puolivälissä Koelentokeskus-vierailun jälkeen todettiin ensimmäinen suuri hidastuskohta projektin etenemistä ajatellen. Vierailua ennen GPS LOGGERin 0-sarjan suunnittelu oli ollut valmis, sekä asiakas oli hyväksynyt sen antaen ALS:lle valtuudet aloittaa 0-sarjan valmistus. /5/

Koelentokeskuksessa tehdyissä 0-sarjan GPS LOGGERin testausasennuksissa pyrittiin tulevan käyttöhenkilöstön kanssa tutkimaan suunnitellun 0-sarjan GPS LOGGERin sopivuutta sen kiinnityskohteeseen sekä käyttökytkimien, liittimien ja LED-valojen sopivuutta määritettyihin sijainteihin. GPS LOGGERin ”risukasaversio” on kiinnitetty Mk. 51/51A Hawk -harjoitushävittäjässä olevaan kiinnitysalustaan. (Kuva 6.) /5/



Kuva 6 GPS LOGGERin testausasennus Mk. 51/51A Hawkiin /5/

Lentokoneasennusten perusteella 0-sarjan GPS LOGGER -laitteiden lopullinen käyttäjähenkilökunta (Koelentokeskus) ei kuitenkaan ollut täysin samaa mieltä 0-sarjan suunnittelun lopputuloksesta. Myös asiakas (Lentotekniikkalaitos) sekä ALS

olivat 0-sarjan tulevan käyttäjähenkilökunnan kanssa samaa mieltä siitä, että suunnittelun tulos ei käytännössä ollut sitä mitä sen olisi pitänyt olla, jotta valmistettavat 0-sarjan GPS LOGGER -laitteet toteuttaisivat täysin käyttäjän odotukset. Lopputuloksena päätimme, että 0-sarjan suunnitteluun oli tehtävä muutoksia, ennen kuin laitteita kannattaa alkaa valmistaa. /5/

0-sarjan suunnittelun muutokset arvioitiin sen verran mittaviksi, että niitä ei voitu tehdä enää samalla suunnittelutyöllä, joka 0-sarjan suunnittelulle oli alun perin määritelty. Suunnittelun muutoksille laskettiin tarjous, jonka mukaan tarvittiin noin 80 tuntia suunnittelua ja 1,5 kuukautta toimitusaikaa enemmän sekä suunnittelu tultaisiin tekemään erillisenä työnä. Suunnittelun muutokset sisälsivät seuraavat asiakokonaisuudet:

- GPS LOGGERin laitekotelo käännettävä 90 astetta, jotta otsapinta-ala saadaan pienemmäksi
- GPS LOGGERin ja lentokoneen verkoston yhdistävä liitinkokonaisuus oli saatava pienempään kokoon sekä siirrettävä eri kohtaan
- Käyttökytkimien sekä dataportin sijaintien muutos
- Testausliittimen lisäys laitteen sisälle
- Johdatusten osittainen siirto
- LED-indikaattorien sijaintien siirto etupaneeliin
- Dokumentoinnin muutokset. /13/

6.3 Mekaniikka

Mekaniikan suunnittelussa jouduttiin komponentteja, materiaaleja sekä osasijoittelua muuttamaan moneen kertaan. Tämä johtui pääasiassa erikoisten komponenttien saatavuus- ja toimitusvaikeuksista ja suunnittelun muutoksesta Koelentokeskuksen vierailun johdosta.

Asiakkaan laatimassa vaatimusmäärittelyssä oli annettu suuntaa-antavia viittauksia mekaniikan sijoittelusta sekä sen materiaaleista. Loppujen lopuksi voitiin kuitenkin todeta, että laitteesta tuli päällisin puolin melko erilainen kuin alkuperäisestä vaatimusmäärittelystä saattoi havaita. Projektin aikana pääasiassa mekaniikasta oli

paljon eri variaatioita, jotka lopuksi hioutuivat yhdeksi kaikkia osapuolia tyydyttäväksi kokonaisuudeksi.

GPS LOGGERin suunnittelun alkuvaiheessa ei tiedetty mikä oli suunniteltavan laitteen maksimipaino, koska asiakas ei ollut määritellyt sitä vaatimusmäärittelyyn. Tiedettiin kuitenkin, että asennuskohdassa, johon GPS LOGGER tultaisiin sijoittamaan, on ollut aiemmin kameralaitteisto, joka ei ollut enää käytössä. Asiakasta pyydettiin varmistamaan käytöstä poistetun kameralaitteiston paino, jonka perusteella voitaisiin tehdä johtopäätöksiä GPS LOGGERin suunnittelun suhteen.

Asiakas ilmoitti käytöstä poistetun kameralaitteen painoksi 700 g. Suunnittelemamme GPS LOGGER painoi siinä vaiheessa 550 g peitelevy kiinnitettynä. Koska GPS LOGGER painoi 150 g vähemmän kuin kameralaitte, ei tähtäimen rungolle tarvinnut tehdä erillisiä lujuuslaskutoimenpiteitä. Voitiin siis olettaa, että tähtäimen runko tulee kestävämpään 150 g kevyemmän laitteen kuin kameralaitte, joka siinä on ennen ollut asennettuna.

GPS LOGGERin suunnittelussa laitteen ulkomitat määräytyivät vaatimusmäärittelystä, asennuskohteen vaatimista mitoista sekä laitteen tulevan käyttöhenkilöstön vaatimuksista. Vaatimusmäärittelyn mitat olivat suuntaa-antavia, eikä asiakas hylännyt ajatusta hieman isommistakaan ulkomitoista. GPS LOGGERin asennuskohteessa laitteen ulkomittoja rajoittivat lähinnä korkeus suunnassa lentokoneen kuomu sekä pituussuunnassa GPS LOGGERin kiinnitysalusta. Koelentokeskuksen vierailun tuloksena selvisi, että myös leveysuunnassa olevia laitekotelon ulkomittoja rajoitti lentäjän näkökenttä. Kohdassa 7.2 on esitetty suunnittelun muutokset. /3/

Asiakkaan vaatimusmäärittelyssä oli osasijoittelusta tehty joitakin määrittelyjä, mutta ALS:lla oli suhteellisen vapaat kädet sijoitella kaikki suunnitellut komponentit GPS LOGGERiin. Esimerkiksi GPS-moduulin kiinnityspaikasta ja käyttökytkimistä oli asiakkaan vaatimusmäärittelyssä määritelty niiden asennuskohta. Projektin edetessä huomattiin kuitenkin, että edellä mainittujen komponenttien suunniteltu asennuskohta muuttui vielä moneen kertaan.

Komponentit pyrittiin sijoittamaan siten, että GPS LOGGER pystyttiin rakentamaan asiakkaan ja ALS:n edellyttämin ehdoin. Monista kohdista ei heti päästy yhteiseen päätökseen, vaan joitakin kohtia piti kokeilla käytännössä ja pohtia asiaa jälleen uudelleen, jotta paras mahdollinen vaihtoehto saatiin esiin.

GPS LOGGERin laitekotelon läpiviedyt komponentit pyrittiin sijoittamaan siten, että niitä on mahdollisimman helppo ja vaivaton käyttäjän käyttää sekä havainnoida. Monissa kohdissa jouduttiin kuitenkin tekemään erilaisia kompromisseja, jotka heikensivät osaltaan muiden sijoiteltujen komponenttien ominaisuuksia, mutta paransivat kokonaisuutta.

Koelentokeskuksen vierailun jälkeisen muutossuunnittelun seurauksesta komponenttien osasijoittelusuunnitelmat muuttuivat melkein kokonaan. Osasijoittelusuunnitelman muutos johtui laitekotelon kääntämisvaatimuksesta. Laittekotelo tuli kääntää 90 astetta, jolloin myös kaikkien laitekotelosta läpivietävien komponenttien sijaintia tuli muuttaa radikaalisti. /5/

Materiaalit

Lentokonelaitteen materiaalien valinnassa keskityttiin pääasiassa muutamaan tärkeään yksityiskohtaan:

- Keveys
- Kestävyys- /olosuhdeominaisuudet
- Paloturvallisuus (etenkin laitteessa, joka sijaitsee ohjaamossa)
- Häiriöominaisuudet.

Koska laitteen maksimipaino oli rajallinen, tuli siihen kiinnittää erityistä huomiota valittaessa materiaaleja ja komponentteja. Laitteen kestävyysominaisuuksien piti olla suhteellisen hyvät, joten materiaalien ja komponenttien valinnassa oli otettava huomioon olosuhteet, joissa laitetta tullaan testaamaan sekä käyttämään. Paloturvallisuutta ajateltaessa piti valita mahdollisimman hyvät materiaalit, jotka eivät palaisi ollenkaan tai eivät tuottaisi savua. Materiaalien valinnassa tuli ottaa

huomioon vielä laitteen häiriöttömyys. Laite ei saanut aiheuttaa liikaa häiriötä lentokoneen muihin sähköisiin laitteisiin. /3/

Suunnittelussa kaikkien näiden seikkojen optimoiminen aiheutti paljon tutkimista sekä testaamista. Muutamissa tapauksissa edellä mainituista vaatimuksista ja ihannetapauksista jouduttiin luopumaan materiaalien toimitusten tai saatavuuksien puutteellisuuden ansiosta.

Alumiinimateriaalista ALS:ssa valmistetut osat tulivat kaikki maalata vähintään pohjamaalilla. Näkyvät osat myös pintamaalattiin mustalla maalilla sekä lopuksi vielä lakattiin mattalakalla.

Laitekotelo

Vaatimusmäärittelyn mukaan oli suunniteltava laitekotelo, johon GPS LOGGERin kaikki komponentit tuli sijoittaa. Vaihtoehtona oli joko valmistaa itse kyseinen laitekotelo tai tilata valmis huomattavasti halvemmalla hinnalla. Itse valmistettavasta kotelosta olisi saanut valmistettua juuri sellaisen kuin olisimme halunneet, mutta se osoittautui suhteellisen kalliiksi vaihtoehdoksi. Valmiiden laitekoteloiden valinnassa oli suuria vaikeuksia, koska vaatimusmäärittelyn kokoista valmista laitekotelo ei löytynyt. Tilasimme muutaman samaa kokoluokkaa olevan laitekotelon testattavaksi ja arvioitavaksi. Tilatut laitekotelot olivat hieman vaatimusmäärittelyn mukaisia mittoja suurempia. Tilatut laitekotelovaihtoehdot olivat joko valettua alumiinia tai ABS-muovia. Totesimme kuitenkin alkumetreillä, että ABS-muovikotelot eivät tulisi soveltumaan laitekoteloksi, koska niiden koneistettavuus-, lujuus- sekä palo-ominaisuudet ovat erittäin heikot. Laitekotelon kokoa rajoitti vaatimusmäärittelyn ohella MS-liitin, jonka asiakas oli toimittanut tilauksen yhteydessä. MS-liittimen ja kuten muidenkin komponenttien valinnan suhteen ALS:lla oli kuitenkin oikeus tehdä muutoksia, joten pyrimme valitsemaan pienimmän mahdollisen laitekotelon, johon komponentit mahtuisivat ja johon pystyisi mahdollisesti myös vaihtamaan tarvittaessa MS-liittimen.

Lopuksi valitsimme laitekoteloksi valetusta alumiinista tehdyn kotelon, joka oli suhteellisen vahvan oloinen ja jota oli saatavilla myös vesitiiviinä mallina. Kotelo täytti olosuhteiden puolesta vaatimukset. Kotelon koko oli kuitenkin noin puolet isompi kuin mitä vaatimusmäärittelyssä oli määritelty. Mutta koska tarkoituksena oli valmistaa ensin ns. risukasaversio, jolla pystytään todentamaan laitteen toiminta sekä logiikka, niin valitsimme kyseisen kotelon. Aloimme hahmottelemaan laitteen muita komponentteja koteloon ja arvelimme, että kotelo voitaisiin vielä vaihtaa pienempään, jos asiakas ei ole tyytyväinen valintaan. (Liite 1.)

Laitekoteloon suunniteltiin tarvittavat läpiviennit kytkimille, LED:lle, liittimille, piirikortin kiinnikkeille ja laitekotelon kiinnityskohdille sekä kansiosaan, johon suunniteltiin läpiviennit GPS-moduulin lattakaapelille ja kiinnityskohdille. Suunniteltujen läpivientien sijainnit muuttuivat useaan kertaan osaksi kokouksien ja osaksi asiakkaan kanssa pidettyjen yhteydenpitojen ansiosta.

24.11.2004 pidetyssä suunnittelupalaverissa sekä myöhemmin 10.12.2004 pidetyssä Mod1:n luovutustilaisuudessa ei GPS LOGGERin kotelosta tullut mitään muutosehdotuksia. GPS LOGGERin 0-sarjan suunnittelu luovutettiin 10.12.2004 sekä asiakas hyväksyi sen. Sen jälkeen ALS olisi voinut alkaa valmistaa 0-sarjan GPS LOGGER -laitteita, mutta päätettiin vielä käydä asiakkaan kanssa Koelentokeskuksessa sovittamassa ja testaamassa risukasaversiota Mk. 51/51A Hawk harjoitushävittäjään. Vierailu osoitti kuitenkin, että GPS LOGGER -laitteeseen oli tehtävä muutoksia myös laitekotelon suhteen. /13/

Muutoksista johtuen laitekotelo käännettiin 90 astetta, jolloin GPS LOGGERin otsapinta-ala pieneni huomattavasti. Kotelon kääntäminen aiheutti myös komponenttien ja kotelon kiinnityksessä muutoksia. Muutokset oli kuitenkin suhteellisen helppo toteuttaa, jolloin suurin työ kohdistui valmistusdokumenttien muuttamiseen. /5/

Akkupaketin kiinnityspanta

GPS LOGGERiin tuli sijoittaa akkupaketti, joka koostui neljästä (4) akkukennosta. Akkukennojen sijoittelusta oli aluksi monta eri variaatiota, erikseen kahden kennon

paketteina kiinnitettynä sekä yhtenä akkupakettina, jossa kaikki neljä akkukennoa olisivat olleet yhdessä. Tilan, osasijoittelun sekä kotelon kiinnitysrakenteita suunniteltaessa päädyttiin ratkaisuun, jossa kaikista neljästä akkukennosta muodostettaisiin yksi akkupaketti. Akkupaketin kiinnitykseen oli saatavilla valmiita muovisia kiinnityskoteloita, mutta ne osoittautuivat kuitenkin heikkorakenteisiksi sekä paloturvallisuus niissä oli heikko. Akkupaketin kiinnittämiseen suunniteltiin akkupaketin kiinnityspanna, joka valmistettiin alumiinilevystä (duralumiini 2024) ja jonka paksuus oli 1 mm. (Liite 2.)

Akkupaketin kiinnityskohdat suunniteltiin siten, että samoja kiinnitysruuveja voitaisiin hyödyntää koko laitekotelon kiinnittämisessä peitelevyyn. Kiinnityskohtia suunniteltiin kuusi (6), joista kaikkia voitaisiin käyttää laitekotelon kiinnittämisessä peitelevyyn. Laitekoteloon suunniteltiin vielä kaksi lisäreikää, joista kotelo voitiin kiinnittää peitelevyyn.

Akkupaketin kiinnityspannan mitat oli suunniteltava siten, että otettiin huomioon akkukennojen väliin laitettavat eristelevyt ja että akkupaketti tulisi olemaan erittäin tukevasti kiinni ja pystyisi täten ottamaan iskut ja värinät hyvin vastaan.

Piirikortin kannaketornit

Piirikortin kiinnittämisestä oli jälleen monia eri versioita, mutta suunnittelussa päädyttiin perinteiseen lentokonepiirikortin kiinnitystapaan. Piirikortti suunniteltiin sijoitettavaksi laitekotelon sivuseinään kuuden alumiinista suunnitellun pyöreän torniholkin varaan. Torniholkkien sisäosa suunniteltiin ontoksi, jotta kiinnitysruuvit voitaisiin asentaa niiden läpi ja ruuvien avulla kiristää piirikortti laitekotelon seinään. Piirikortin kannaketorneja tuli olla jopa kuusi (6), koska piirikortti oli suhteellisen suurikokoinen ja voisi pienemmällä määrällä helposti alkaa resonoida mahdollisesti lentokoneesta tulevien värinöiden kanssa. (Liite 3.)

GPS-moduulin suojakupu

GPS-moduuli suunniteltiin ensin kiinnitettäväksi laitekotelon sisäpuolelle. Tässä tapauksessa laitekotelon kanteen olisi pitänyt tehdä läpivienti GPS-moduulin

antenniosalle sekä moduulin kiinnityksille, jolloin vesitiiveyden suunnittelussa olisi tullut ongelmia. Myös yhtenä ongelmana oli GPS-moduulin vastaanottoherkkyys. GPS-moduulin vastaanottoherkkyys olisi heikentynyt, jos antennitasossa olisi ollut materiaalia, joka absorboi radioaaltoja. Pääasiassa näiden epäkohtien takia GPS-moduuli suunniteltiin sijoitettavaksi laitekotelon kannen yläpuolelle, jotta häiriötekijöitä olisi ollut mahdollisimman vähän. GPS-moduulin päälle suunniteltiin suojakuppu, joka suojaa moduulia tärinältä, iskuilta ja sääolosuhteilta. (Liite 4.)

Suojakuvun materiaaliksi GPS-moduulin valmistaja oli määritellyt Acrylonitrile Butadiene Styrene -muovin (ABS), mutta se ei sopinut meidän projektiimme huonojen ominaisuuksiensa ansiosta. Materiaaliksi ajateltiin polyasetalia (POM) sen hyvien ominaisuuksien ansiosta, mutta ei kuitenkaan tiedetty POM:n GPS-taajuuksien läpäisyominaisuuksista. POM:n sopivuutta tiedusteltiin GPS-moduulin valmistajalta (Fastrax Oy). Heilläkään ei ollut aiempaa kokemusta kyseisestä materiaalista, he arvelivat sen sopivan käyttötarkoitukseemme. Asiasta ei oltu kuitenkaan varmoja, joten se piti testata jotenkin. Saimme vihjeen GPS-moduulin valmistajalta testata POM:n RF-signaalien läpäisykykyä suuntaa antavalla menetelmällä, jossa materiaali laitettaisiin vesilasillisen kanssa mikroaaltouuniin minuutiksi ja todettaisiin minuutin jälkeen oliko materiaali lämmennyt vai ei. POM-materiaali ei lämmennyt kyseisessä ajassa mikroaaltouunissa, joten siitä voitiin päätellä, että materiaali tuskin absorboi paljoa RF-signaaleja. POM-materiaalin sopivuus testattiin kuitenkin vielä luotettavammin myöhemmässä vaiheessa, kun saimme GPS-moduulin toimimaan. Testauksessa vertailimme GPS-moduulin vastaanottokykyä POM-materiaalista tehdyn suojakuvun kanssa sekä ilman suojakupua. (Liite 5.) /20/

GPS-moduulin suojakuvun kiinnitykset suunniteltiin siten, että samoja kiinnityksiä voitiin hyödyntää myös GPS-moduulin kiinnityksessä. Suojakuppu suunniteltiin kiinnitettäväksi symmetrisesti neljästä kiinnityskohdasta kierretangoilla. Kierretangot suunniteltiin kiinnitettäväksi suojakuppuun helicoil-kierteillä. Kierretangot lävistivät GPS-moduulin kiinnitysreijät sekä laitekotelon kannen. Suojakuppu, GPS-moduuli ja laitekotelon kansi pystyttiin siis kiristämään samoilla kiinnitysruuveilla.

Suunniteltaessa GPS-moduulin suojakuvun muotoilua pyrittiin aikaan saamaan mahdollisimman kevyt, mutta luja rakenne. Suojakupu suunniteltiin jyrstävaksi yhdestä materiaalipalasesta ja mitoittamaan se siten, että GPS-moduuli asettuisi jyrstettyyn koloon tiukasti. Jotta suojakuvusta saatiin vesitiivis, oli siihen suunniteltava vielä O-rengasura, johon voitiin asentaa kuminen O-rengas.

Peitelevy

Kaikissa Mk. 51/51A Hawk -harjoitushävittäjissä takatähtäimen yläpuolella on teline, jossa aiemmin on käytetty tähtäinkameraa. Nykyään tähtäinkamera sijaitsee eri paikassa, ja siitä syystä GPS LOGGER voidaan sijoittaa vanhan tähtäinkameran tilalle. Vanhan tähtäinkameran tilalla tähän saakka on ollut peitelevy, jonka Mk. 51/51A Hawk -ohjekirjan mukaan pitää olla tähtäinkameran kiinnitystelineessä kiinnitettynä, jos itse tähtäinkamera ei ole asennettuna. GPS LOGGERin kiinnittämisessä tähtäimen yläpuolella olevaan kiinnitystelineeseen käytetään apuna kyseistä peitelevyä, johon GPS LOGGER kiinnitetään, ja tämän jälkeen peitelevy kiinnitetään tähtäimeen. (Liite 2.) /3/

Peitelevy on suhteellisen heikkorakenteinen, koska se kiinnittyy tähtäimeen kolmesta (3) eri pisteestä. Peitelevy on valmistettu 1,6 mm:n paksuisesta alumiinilevystä, ja kaikki kolme kiinnityspistettä on suoraan kiinnitetty alumiinilevyyn niittaamalla. Kiinnitysten lukumäärän sekä kiinnitystavan perusteella peitelevyn ja peitelevyn kiinnikkeiden välinen rakenne tulee olemaan heikoin kohta koko GPS LOGGERin kiinnittämisessä tähtäimeen.

Aluksi GPS LOGGER suunniteltiin kiinnitettäväksi peitelevyyn symmetrisesti kahdeksasta eri kiinnityspisteestä. Kiinnityksessä käytettiin halkaisijaltaan 2 mm:n kokoisia kartiokantaruuveja. Kartiokantaruuvit upotettiin peitelevyyn, ja ruuvit tulivat peitelevyn ja GPS LOGGER:n laitekotelon pohjan läpivienneistä läpi. Osa ruuveista tuli läpi myös akkupaketin kiinnityspannan kiinnityskohdista. Ruuvit kiristettiin muttereilla, joiden alle tuli aluslevy.

Koelentokeskuksen vierailun jälkeisten suunnittelun muutosten perusteella GPS LOGGERin kiinnityspisteet peitelevyyn muuttuivat oleellisesti. Pääasiassa

komponenttien uudelleen sijoittelun perusteella laitekotelon kiinnitykset peitelevyyn jouduttiin toteuttamaan epäsymmetrisesti. Myös laitekotelon sekä peitelevyn väliin suunniteltiin alumiininen välilevy korottamaan laitekoteloa suhteessa peitelevyyn. Peitelevyyn suunniteltiin kahdeksan (8) kiinnityspistettä. Kuusi (6) kiinnitystä meni peitelevystä suoraan läpiruuveilla välilevyn läpi laitekoteloon, mutta kaksi (2) meni ainoastaan välilevyyn. Näillä kahdella erillisellä kiinnityspisteellä pyrittiin tasaamaan paikallisten jännitysten muodostumista peitelevyyn.

Laitekotelon ja peitelevyn välinen korotuslaippa

Koelentokeskuksessa käydyn vierailun perusteella GPS LOGGERin laitekoteloa tuli kääntää 90 astetta. Tästä johtuen laitekoteloa tuli korottaa 4 mm, koska muuten laitekoteloa ei olisi voinut kiinnittää peitelevyyn siinä olleen särmäyksen ansiosta. Laitekotelon korotukseen suunniteltiin alumiinista valmistettava levy, jonka läpi tuotiin myös kaikki laitekotelon kiinnitysruuvit. Peitelevyn kiinnittämiseen käytettiin vielä kahta (2) lisäkiinnitystä, jotta kokonaiskiinnitys olisi ollut mahdollisimman symmetrinen. Nämä kaksi lisäkiinnitystä kiinnitettiin helocoil-kierteiden avulla välilevyyn. Peitelevyssä olleille kahdelle kiinnitysnitille tuli suunnitella upotuskohdat välilevyyn, jotta välilevy saatiin istumaan peitelevyn pintaan tiiviisti. (Liite 6.) /5/

Testausliittimen kannaketornit

Koska testausliitin suunniteltiin lisättäväksi GPS LOGGERin laitekotelon sisäpuolelle vasta Koelentokeskuksen vierailun jälkeen, oli sen kiinnittämisen suunnittelu hieman hankalampaa. Jo melkein valmiiksi suunniteltuun kokoonpanoon tuli siis vielä kiinnittää D9-liitin. Kahden akkupaketin kiinnityskohdan välinen etäisyys oli juuri sopiva D9-liittimen kiinnityksille, joten suunnitelimme sen asennuskohteeksi sen. Kuitenkaan D9-liittintä ei voinut suoraan kiinnittää akkupaketin kiinnityskohteisiin, koska ne olivat laitekotelon pohjassa. Tuli siis suunnitella valmistettavaksi vielä testausliittimen kannaketornit, jotka kiinnitettiin laitekotelon pohjaan käyttäen apuna akkupaketin kahta kiinnityskohtaa. (Liite 3.)

Aluksi ajatuksena oli käyttää niin pitkiä ruuveja, että ne ylettyisivät peitelevystä suoraan testausliittimen kiinnityskohtiin, mutta niin pitkiä ruuveja ei ollut saatavilla. Kannaketornien molempiin päihin tuli siis suunnitella kierteet, jotta peitelevy ja testausliitin voitiin kiinnittää molemmat omilta puoliltaan kannaketorneihin. Kierteiden tuli olla erityyppiset kierteet, koska peitelevystä tulevat ruuvit olivat UNC 2-56 -tyyppisiä ja testausliittimen kiinnityskohdat vaativat UNC 4-40 -tyyppiset kiinnitykset.

Komponentit

Komponenteiksi tässä yhteydessä luetaan kaikki valmiit osat (pois lukien piirilevyn elektroniikka), jotka voitiin tilata valmiina. Akkupaketin kohdalla teimme poikkeuksen, jossa muutimme hieman sen valmista kokonpanoa.

GPS-moduuli

GPS-moduuli oli Fatsrax Oy:n valmistama valmis komponentti (uPatch02), jolle tarvitsi suunnitella ja valmistaa tarvittava elektroniikka, jotta GPS-moduuli sai käyttöjännitteen sekä asiakkaan vaatima logiikka toimi. GPS-moduulille tuli suunnitella myös kiinnitysalusta sekä tarvittavat testaukset, jolla moduuli saatiin hyväksytyä lentokelpoiseksi. (Liite 7.) /3/

POWER-kytkin

Kytken toiminta ja käytettävyys asettivat paljon vaatimuksia. Jotta käyttäjän on helppo toimia GPS LOGGERin POWER-kytkimen kanssa, oli se suunniteltava ja sijoitettava siten, että sen toimintaperiaate oli muiden ON-OFF -tyyppisten ohjaamossa olevien kytkimien kanssa sama. Käytettäessä kytkimen vipua yläasennossa tuli GPS LOGGERin kytkeytyä ON-tilaan ja palautua välittömästi keskiasentoon (NORM). Käytettäessä kytkimen vipua ala-asennossa tuli GPS LOGGERin kytkeytyä OFF-tilaan ja palautua välittömästi keskiasentoon (NORM). Toimintaperiaatteen takia GPS LOGGERiin täytyi siis hankkia keskiasentoon palautuva kolmiasentoinen vipukytkin. Vipukytkimen vaatimuksena oli myös lukkiutuva keskiasento. /3/

Etsittäessä logiikaltaan yhteensopivaa vipukytkintä ei ongelmia ollut, vaan tarjolla oli monia eri malleja. Asiakkaan vaatimuksena oli myös vipukytkimen lukkiutuva keskiasento sekä osaltaan myös vipukytkimen pieni koko, jotka sitten toivat ongelmia paljon. Vaatimusmäärittelyn mukaisia vipukytkintä ei löytynyt kuin yksi vaihtoehto, jonka toimitusaika ja toimitusmäärä vaikeuttivat tilannetta vielä huomattavasti. Ainoata sopivaa vipukytkinvaihtoehtoa ei voitu tilata juuri edellä mainituista syistä, ja jouduimme asiakkaan kanssa sopimaan vaihtoehtoisista toimenpiteistä. Vaihtoehtoja oli kaksi. Joko asentaa määritellyn kolmiasentoisen vipukytkimen tilalle kaksi kaksiasentoista vipukytkintä tai kolmiasentoinen vipukytkin, jossa ei ollut lukkiutumismahdollisuutta. Vaihtoehtoista valittiin kolmiasentoinen, jossa ei ollut lukkiutumismahdollisuutta, koska kytkimien määrä pyrittiin minimoimaan, sekä kyseinen lukkiutumaton kytkin oli kuitenkin suhteellisen jäykkätoiminen. Jäykkätoimisuuden ansiosta kytkintä ei pysty kovinkaan helposti vahingossa kytkemään ON- tai OFF- asentoon.

Valittu vipukytkin ei kuitenkaan ollut täysin vesisuoja, joten kytkimen päälle oli määriteltävä sopiva kytkinsuoja. Kyseiselle vipukytkimelle oli saatavilla sopiva kytkinsuoja, joka paransi myös vipukytkimen tuntumaa sen normaalissa käytössä.

TRIG-kytkin

TRIG-kytkimen määrittely oli hieman helpompaa kuin POWER-kytkimen, sekä erilaisten mallien saatavuudessa oli valinnanvaraa, koska TRIG-kytkimen vaatimukset eivät olleet niin vaativat kuin POWER-kytkimen. TRIG-kytkin tuli olla painonappityyppinen ja palautuva. Virrat molemmissa käyttökytkimissä ovat pieniä, koska koko laitteen ottama tehokin on vain 60 mA. Pienten käyttövirtojen vuoksi niihin ei tarvinnut ottaa suurempaa huomiota. /3/

Ainoaksi ongelmaksi valitun kytkimen suhteen muodostui sen hieman heikko sormeen välittyvä kytkintuntuma. Painettaessa kytkintä ei siinä ole juuri yhtään sormituntumaa, jolla huomaisi painotapahtuman. Sormituntumaa ei myöskään auttanut kytkimensuoja, joka teki kytkimestä vesitiiviinlaitekotelon läpimenoaukon kohdalta.

LEDit

GPS LOGGERin eri toimintatilojen ilmaisemiseen oli sopivinta käyttää Light Emitting Diode (LED) valoja, koska niiden käyttöikä on pitkä sekä virran kulutus pieni suhteessa muihin merkkivaloihin. LED-valoja oli myös saatavilla monia erilaisia malleja sekä monilla erilaisilla ripustusvaihtoehdoilla. Vaihtoehtoista valittiin LED, jonka ominaisuudet vastasivat suhteellisen hyvin olosuhde- ja tiiveysvaatimuksia. Valittu LED oli kuitenkin suhteellisen hintava johtuen juuri kattavista olosuhdeominaisuuksistaan.

Koska LED-valot kiinnitettiin GPS LOGGERin laitekoteloon, tulivat ne hieman korkeammalle kuin lentäjän suora näkökenttä eteenpäin katsottaessa. LED-valojen heikkoutena on valon havaittavuus katsottaessa LEDiä sivusuunnasta. Huonon havaittavuuden ansiosta LED suunniteltiin ripustettavan ns. kauluksen sisään, joka parantaa hieman LEDin näkyvyyttä vähentämällä ympäristöstä tulevan valon pää pääsyä LEDiin. Suunniteltiin myös kallistettavan LEDin ripustusta siten, että LED osoittaisi suoraan lentäjän silmiin, mutta todettiin, että ainakaan 0-sarjaan sitä ei vielä tarvitsisi tehdä.

Lentokoneen verkostoon johtava liitin

Asiakkaan määritellyn mukaan GPS LOGGER:n ja Mk. 51/51A Hawkin välinen verkostokaapeli valmistettiin eri yhtiössä kuin GPS LOGGER. GPS LOGGER:n verkostoliitintä valittaessa pyrittiin pitämään tiivistä yhteydenpitoa asiakkaaseen, joka puolestaan informoi verkostokaapelin valmistajaa liitinvalinnoista.

Ensimmäisenä lähtökohtana GPS LOGGERin liittimien suunnittelussa oli liitinkontaktien määräitys. Suunnitteluvaatimusten mukaan GPS LOGGER -laitteen liittimet, jotka tulivat laitekotelon ulkopuolelle täytyivät olla liitinkontakteiltaan uros –tyyppisiä. Tämä johtui siitä, että liittimissä, jotka liitetään GPS LOGGERin liittimeen on sähkönsyöttö. Verkostoliitinten, joiden kautta sähkö syötetään GPS LOGGERille tuli olla suojattuja oikosulkuvaaralta, ja tästä syystä sähköä syöttävissä liittimissä tuli olla naaras–tyyppiset liitinkontaktit. /3/

Asiakas antoi heti alkuvaiheessa oman vaihtoehdon liittimelle, joka asennettaisiin GPS LOGGERiin, mutta laitekotelon suunnittelussa havaittiin, että asiakkaan määrittelemä liitin oli jo pelkästään fyysiseltä kooltaan liian suuri. Myös liitinkontaktit olivat liian suuret, koska suunnitellut johtimet, jotka liittimelle tuotaisiin, ovat poikkipinta-alaltaan liian pienet. Joten alettiin etsiä uutta ja pienempää liitintä. Kaikki vaatimukset, jotka liittimelle oli määritelty, pystyi täyttämään vain muutama liitinmalli, mutta toimitusajat olivat aivan liian pitkiä, joten ne jouduttiin hylkäämään kokonaan. Kooltaan pieniä ja saatavuudeltaan hyviä liitinvaihtoehtoja oli muitakin, mutta ne eivät täyttäneet kaikkia asiakkaan vaatimuksia (MIL -spesifikaatio), joten ne hylättiin välittömästi.

Löysimme kuitenkin erään liittimen, jota käytettiin myös F-18 Hornet -lentokoneen eräässä laitteessa. Liitin oli fyysisiltä mitoiltaan hieman asiakkaan liitinvaihtoehtoa pienempi, sekä liitinkontaktien koko oli sopiva. Suunnittelimme GPS LOGGERin kyseisellä liittimellä ja asiakas hyväksyi valinnan 10.12.2004 pidetyssä Mod1:n luovutustilaisuudessa. Luovutustilaisuuden jälkeisessä vierailussa Koelentokeskuksessa osoittautui kuitenkin, että GPS LOGGER -laitteeseen oli tehtävä muutoksia myös verkostoon johtavan liittimen suhteen, koska liitin oli kuitenkin liian suuri.

Tilanteeksi muodostui, että ei löydetty yhtään liitinmallia, jolla GPS LOGGER olisi voitu toimittaa määräajassa asiakkaalle. Jouduttiin palaamaan suunnittelussa hieman takaisin ja toteamaan, että MIL-spesifikaation omaavia liittimiä ei GPS LOGGERiin tulnaisi laittamaan. Asiakas ehdotti liitinmallia (LEMO), joka heidän mielestään voitaisiin asentaa GPS LOGGERiin. Totesimme myös ALS:ssa asiakkaan ehdottaman liittimen sopivaksi, vaikka MIL-spesifikaatiota siihen ei valmistaja ollut määritellytkään. Tilasimme kyseisiä LEMO-liittimiä GPS LOGGERiin. Ainoastaan näiden LEMO-liittimien toimitusajan takia GPS LOGGERin toimitusta jouduttiin siirtämään 1,5 kk eteenpäin. LEMO-liittimen fyysinen koko oli erittäin pieni verrattuna mihin tahansa MIL-spesifikaation täyttävään liittimeen. Laitekotelosta ulostuleva osuus oli vain 5 mm, ja kotelon sisään jäävä osuus oli 12 mm. LEMO-liitin kiinnitettiin laitekoteloon tehtyyn läpivientiin yhdellä mutterilla, joka kiristetään laitekotelon ulkopuolelta momenttiin.

D9P-sarjaportti

Koko suunnittelun ajan pysyttiin alusta lähtien samanlaisessa liittintyyppissä, jonka kautta GPS-moduulin tallentama tieto ladataan tietokonepäätteelle. D9-liittimessä kyseenalaista oli tulisiko se olemaan naaras- vai urostyyppinen. Vaatimusten mukaan D9-liittimen piti olla urostyyppinen saman ongelman takia kuin verkostoon johtavassa liittimessäkin. Urostyyppisen liittimen kanssa ei tarvinnut myöskään käyttää sukupuolenvaihdos-liitintä (Gender Changer) normaalin 0-modeemikaapelin ja D9P-liittimen välissä. GPS LOGGERiin valittiin siis D9P-tyyppinen sarjaporttiliitin. D9P-liittimen kiinnitys laitekoteloon toteutettiin normaalisti D9-liittimen tapaan kahdella ruuvilla, joiden toisessa päässä olevilla muttereilla tehtiin kiristys. Ruuvien kannassa tuli olla ns. mutterit, joihin voitiin kiristää ja lukita 0-modeemikaapeli. /3/

Saatavilla oli erittäin huonosti vesitiiviitä tai MIL-spesifikaation täyttäviä D9-liittimiä. Jotta tiiveys voitiin taata, oli D9P-liittimen eteen suunniteltava suoja, joka suojaisi vedeltä, pölyltä ja muilta epäpuhtauksilta. Saatavilla oli kuitenkin valmiita D9P-liittimen suoja, jotka eivät kuitenkaan suoraan käyneet GPS LOGGERin käyttötarkoitukseen, koska suojan ei tarvinnut olla aina asennettuna D9P-liittimen päälle, mutta sen tuli olla kuitenkin aina GPS LOGGERin mukana. Suojaan piti siis suunnitella sen kiinnitys, jolla se pysyy GPS LOGGERin laitekotelossa kiinni silloin, kun se ei ole suojaamassa D9P-liitintä. Kiinnitys toteutettiin ohuella vaijerilla, jonka varaan liitinsuoja jää roikkumaan kun se ei ole kiinnitettynä D9P-liittimeen. Kun liitinsuoja on D9P-liittimen suojana on se kiinnitettynä liittimeen samoista kiinnityskohdista ruuveilla, kun mihin 0-modeemikaapelikin kiinnitetään.

Akkupaketti

Asiakkaan toiveena oli käyttää nikkeli-metalli-hydridi -tyyppisiä (NiMH) akkukennoja, mutta jo alkuvaiheessa tämä todettiin käyttökelvottomaksi lentokoneympäristössä herkän räjähdysvaaran ansiosta. NiMH:n tilalle suunniteltiin nikkeli-kadmium -tyyppiset (NiCd) akkukennot, jotka ovat muutenkin yleisesti käytettyjä lentokoneympäristössä. /3/

GPS-moduulin valmistaja Faxtrax Oy oli määritellyt jännitealueen +2,9 ... +7,0 VDC, jolla GPS-moduuli toimii, mutta suositeltu käyttöjännite oli +3,0 VDC. Asiakas oli määritellyt käytettäväksi kolmea AA-kokoista akkukennoa, joista saatava jännite oli 3,2 VDC. Elektroniikkasuunnittelun tuloksena jouduttiin ottamaan vielä neljäs akkukenno, koska jännitehäviöt olivat suunniteltua suuremmat. Neljännen akkukennon myötä tilan tarve kasvoi myös merkittävästi. /3/

Akkukennojen väliin suunniteltiin ohuet eristelevyt, jotta tärinän vaikutuksesta akkukennot eivät hankautuisi puhki toisiaan vasten ja aiheuttaisi oikosulkua. Akkupaketin ympärille tuli laittaa myös kaksi kerrosta kutistesukkaa, joista molemmat kerrokset olivat eri suuntiin. Kutistesukkien tarkoituksena on pitää akkukennot yhtenä akkupakettina.

Testausliitin

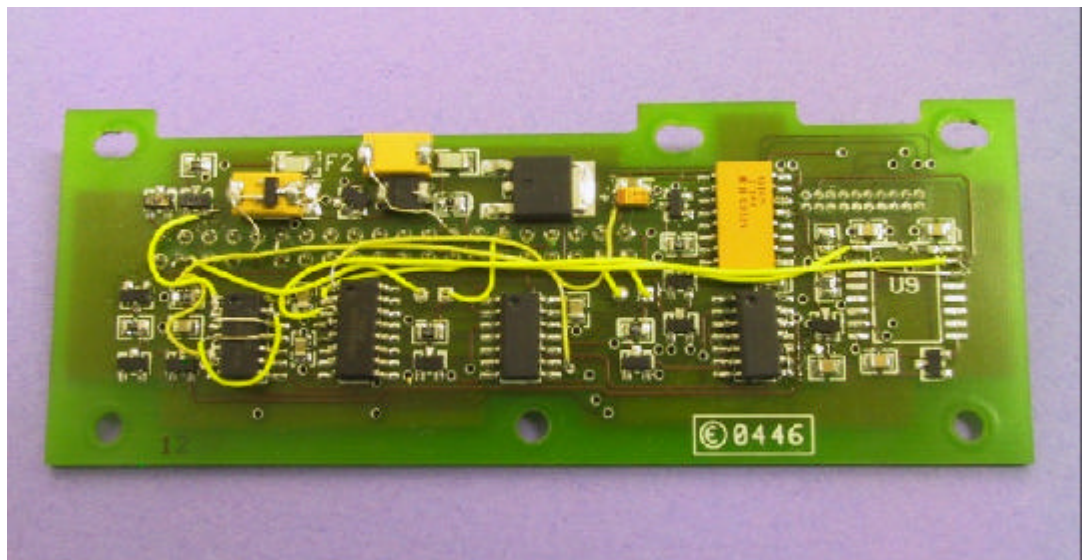
Koelentokeskuksessa tehdyn vierailun perusteella GPS LOGGERin laitekotelon sisäpuolelle suunniteltiin lisättäväksi testausliitin. Testausliittimeen suunniteltiin siirrettäväksi johtimet, joita tarvitaan ainoastaan laitteen testaukseen sekä uuden ohjelmiston lataukseen. Testausliitinmalliksi päätettiin D9P-liitin, johon voidaan helposti liittää tarkoitukseen modifioitava 0-modeemikaapeli. Testausliittimellä aikaan saatiin lentokoneen verkostoon menevän liittimen pienennys.

Testausliittimen kiinnitys suunniteltiin toteutettavaksi hyväksikäyttäen GPS LOGGERin laitekotelon kiinnityksiä. /5/

6.4 Elektroniikka

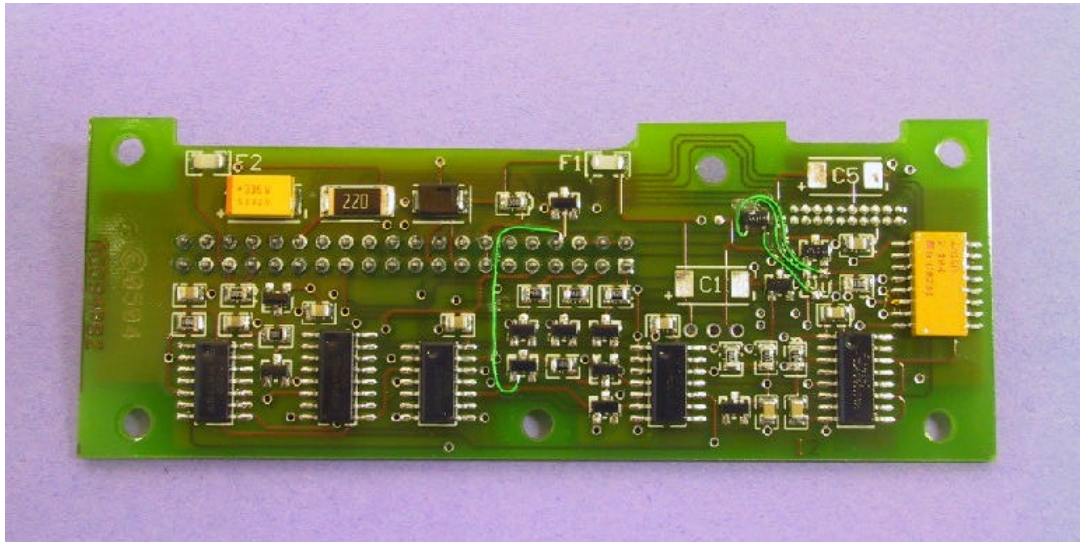
Tämän tutkintotyön aiheeseen kuuluivat elektroniikan testaukset, mutta ei elektroniikan suunnittelua, koska siitä vastasi elektroniikkasuunnittelija (taulukko 1). Elektroniikkaan pääasiallisena suunnittelutehtävänä oli piirilevy, jonka kautta kaikki tiedon siirto ja sähkönsyöttö tapahtuu. Piirilevyn suunnittelussa elektroniikkasuunnittelija käytti tietokonepohjaista suunnitteluohjelmaa. Suunnitteludokumenttien pohjalta alihankkija valmisti piirilevyt. Piirilevyjä jouduttiin tilaamaan kaksi eri versiota, koska ensimmäinen versio ei ollut totuttuun tapaan vielä täydellinen.

Ensimmäisen piirilevyversion valmistuttua sitä testailtiin ja mitattiin eri kohdista, jotta pystyttiin toteamaan sen toiminta. Yleisesti on totuttu siihen, että piirilevy ei onnistu ensimmäisellä kertaa, ja sama voitiin todeta myös tässä työssä. Kaikkien testauksien ja mittausten perusteella huomattiin, että piirilevyn ensimmäinen versio ei täyttänyt sen toimintalogiikalle asetettuja vaatimuksia. Mittausten ja testauksien perusteella piirikorttia muokattiin hyppylangoilla sekä erilaisilla komponenteilla siten, että se saatiin toimimaan toimintavaatimusten mukaisesti. Muutokset korjattiin suunnitteludokumentteihin, ja uusien dokumenttien perusteella tilattiin ja valmistettiin toinen versio piirikortista. Seuraavassa kuvassa on esitetty ensimmäinen piirikorttiversio, joka on korjattu siten, että se täyttää kaikki logiikalliset toimintavaatimukset. (Kuva 7.)



Kuva 7 Ensimmäinen piirikorttiversio

Piirikortin toisessa versiossa huomattiin vielä muutama pieni virhe, jotka olivat aiheutuneet lähinnä suunnitteluohjelmiston itse aiheuttamasta toimintaviasta. Toisessa versiossa oli kuitenkin niin pieniä epäkohtia, että niiden perusteella ei enää tarvinnut tilata ja valmistaa uutta versiota piirilevystä. Nämä pienet epäkohdat voitiin korjata muutamalla hyppylangalla sekä komponentin uudelleen sijoituksella (liitteet 8 ja 9). Seuraavassa kuvassa on esitetty toinen piirikorttiversio, joka on korjattu siten, että se täyttää kaikki logiikalliset sekä laadulliset vaatimukset. (Kuva 8.)



Kuva 8 Lopullinen piirikorttiversio

GPS LOGGERin ”risukasaversiosta” (kuva 4) pääsimme mittailemaan kaikki johdatukset sekä sähköisen toiminnan kokonaisuudessaan. Risukasalla voitiin todeta myös valmiin 0-sarjan GPS LOGGERin vastaanottokyky jo aikaisessa vaiheessa, koska metallinen laitekotelorakenne oli molemmissa samanlainen.

Kaikissa GPS LOGGERin sisäisissä johdatuksissa pyrittiin käyttämään vaatimusten täyttäviä johtimia, mutta se osoittautui hankalaksi sekä osittain mahdottomaksi, kun aiottiin pysyä toimitusaikataulussa sekä resursseja oli käytettävissä rajallisesti.

7 GPS LOGGERIN TESTAUSSUUNNITELMA

Tässä osassa on käsitelty testaussuunnitelman suunnittelu sekä esitetty miksi erityyppisiin ratkaisuihin päädyttiin. Erilaiset testaustoimenpiteet on eritelty omiin otsikkoihin, jotta hieman epäselvät asiakokonaisuudet pysyvät yhtenäisinä.

Yleistä

Tarkoituksena oli suunnitella testaussuunnitelma, jolla 0-sarjan GPS LOGGER -laitteista toinen testattaisiin. Testaussuunnitelman suunnittelussa oli otettava huomioon monia eri vaatimuksia, jotka pohjautuivat standardeihin sekä asiakkaan määrittelemiін vaatimuksiin. Testaussuunnitelman tarkoituksena oli

testata erilaisin keinoin GPS LOGGERin luotettavuus, jotta se voitiin asentaa lentokoneympäristöön.

Testaussuunnitelman liitteenä kuului olla testauspöytäkirja, johon testauksien ja tarkastuksien tulokset kirjataan. Testauspöytäkirja tuli suunnitella täysin testaussuunnitelman perusteella. Testauspöytäkirjan avulla ALS:n tarkastaja sekä asiakas voivat todeta laitteen olevan käytännössä vaatimusten mukainen, jos kaikki testaus- ja tarkastuskohdat on hyväksytty.

Kaikki GPS LOGGERin testaussuunnitelman mukaiset testaukset ja tarkastukset tuli kirjata testauspöytäkirjaan. Testauspöytäkirjassa kaikille eri testaus- tai tarkastuskohdille oli oma kohtansa, johon merkittiin kaikki testauksissa tai tarkastuksissa saadut tulokset sekä havainnot. Kaikille eri tuloksille varattiin kohta, johon testauksen tekijä merkitsi testauksen hyväksytyksi ja/tai havaitun jännitearvon riippuen testauskohdasta. Testauspöytäkirjan ”havainnot”-kohtaan tuli kirjata kaikki huomiot, havainnot sekä epäkohdat, jotka kyseisen testauksen tai tarkastuksen aikana tuli ilmi. ”Havainnot”-kohdan kirjauksista voitiin myöhemmin tehdä johtopäätöksiä tai ehdotuksia, miten kyseistä testauskohtaa tai laitteen toimintoa voitiin parantaa.

7.1 Vaatimukset

Seuraavassa on esitetty vaatimukset sekä standardit, joiden perusteella GPS LOGGERin testaussuunnitelma laadittiin:

- GPS LOGGER Vaatimusmäärittely versio B, 17.08.2004
- LTLoggerin sovitushjelma FMI, käyttäjän ohje, versio 0.4
- NMEA Protocol Specification, Rev 1.31, June 12, 2003
- Mekel Series V-300A HUD/Gunsight –olosuhdetestausraportti No. W4542-081504 (Lämpötilatestaus)
- MIL-E-5400T kohta 3.2.24.6.1 (Isku)
- MIL-STD-810F 506.4 (Roiskevesisuojaus)
- MIL-STD-810F 514.5 (Satunnaistärinätestaus). /3/

7.2 Testaussuunnitelman testauskohteet

Tämän osiossa ovat testaussuunnitelman eri testausvaiheet. Jokaisessa kohdassa on kerrottu, miksi kyseinen testaus on laadittu sekä miten testaus tehdään.

Visuaalinen tarkastus

Visuaalisen testauksen tarkoituksena on todeta GPS LOGGERin mekaaninen kunto silmämääräisesti. Visuaalinen tarkastus tulee suorittaa ennen GPS LOGGERin mitään toiminnallisia testauksia sekä myös testauksien välissä. Tarkoituksena on todeta ja huomata mekaaninen epäkohta mahdollisimman aikaisin, jotta pystyttäisiin rajaamaan mahdollisimman tarkasti se johonkin tiettyyn testaustapahtumaan. Tarkastus suoritetaan kaikille GPS LOGGER:n laitekotelossa sijaitseville komponenteille. Komponenteista tarkastetaan niiden kunto sekä kiinnitys.

GPS-moduulin ohjelmaversio tarkastus

GPS-moduuliin voidaan ladata erilaisia ohjelmia sekä niitä voidaan päivittää tarpeen mukaan. GPS LOGGERin tarkastuksissa sekä testauksissa on tärkeää tietää, mikä ohjelmaversio GPS-moduulissa kullakin hetkellä on, jotta tiedetään miten logiikan tulee toimia.

Ohjelmaversio tarkastus suoritetaan tietokonepäätteellä, johon on asennettu asiakkaan laatima FMI-sovitushjelma. Tiedonsiirto kulkee GPS LOGGERin D9P-sarjaportin kautta 0-modeemikaapelia pitkin tietokoneelle. FMI-sovitushjelman avulla GPS-moduulille voidaan lähettää erilaisia käskyjä, joista yksi on ohjelmaversio tarkastuskäsky. Tarkastuskäskyn lähettämisen jälkeen FMI-sovitushjelma ilmoittaa GPS-moduulissa sillä hetkellä olevan ohjelmaversio. /3/ /6/

Toiminnalliset testaukset

Toiminnalliset testaukset käsittävät testaukset, joilla pystytään varmistumaan GPS LOGGERin oikeasta toiminnasta ja logiikasta. Testaukset tulee suorittaa laitteen

valmiilla kokoonpanolla, jännitelähteellä, GPS-moduulin valmistajan laatimalla Evaluation Kit -ohjelmalla sekä FMI-sovitushjelmalla. Toiminnallisten testauksien tarkoituksena on myös mennä hieman syvemmälle kuin mitä laitteen käyttäjä laitteen toiminnasta huomaa. Erilaiset jännitetasojen mittaukset sekä sähkölinjojen toimivuudet kuuluvat näihin toiminnallisiin testauksiin. /3/

POWER- ja TRIG-kytkimien toiminta

POWER- ja TRIG-kytkimien toimintatestauksessa varmistetaan kytkimien oikeasta toimivuudesta sekä niiden aiheuttamista indikaatiosta.

Toimintatestauksissa pyrittiin suunnittelemaan testaus siten, että kaikki mahdolliset vaihtoehdot, joita kytkimillä pystytäisiin tekemään, voitaisiin testata ja todeta niiden aiheuttama toiminta joko oikeaksi tai vääräksi. POWER-kytkimen toiminta pystyttiin kokonaisuudessaan toteamaan LED-valoista. Jos POWER-kytkin toimii toivotulla tavalla, tulee LED-valojen indikoida kytkimien liikkeistä. Testaus voitiin suunnitella kokonaan toimittaessa akkukäytöllä, koska 28 VDC:n käytön aikana POWER-kytkimellä ei ole funktiota. Koska TRIG-kytkin oli ainoastaan painonappi, ja sen tehtävänä oli tuottaa aika merkki GPS-moduulin Flash-muistiin, voitiin sen toiminta todeta FMI-sovitushjelman avulla. /3/

GPS-moduuli

GPS-moduulille tuli suunnitella toimintatestaus, jotta voitiin todeta itse moduulin toimivuus eri tilanteissa. GPS-moduulin toimintatestaus pystyttiin toteuttamaan ainoastaan toteamalla FMI-sovitushjelman avulla erityyppisiä asioita GPS -moduulin toiminnasta. Jotta saatiin luotettava näkökulma GPS-moduulin toiminnasta, oli FMI-sovitushjelmalla tarkastettava satelliittiyhteys syöttämällä erilaisia käskyjä sekä lataamalla Flash-muistissa olevaa dataa tietokoneelle.

Kaikki edellä mainitut testaukset oli tehtävä vielä uudelleen käyttäen 28 VDC -käyttöjännitettä. Käyttämällä 28 VDC -käyttöjännitettä voitiin todeta myös jännitteen alennuspiirin toimivuus sekä sähkönsyöttölinjasto. /3/

Jännitteen valvontapiiri

Jännitteen valvontapiiri valvoo akkupaketin napajännitteen jännitetasoa.

Valvontapiiri on toteutettu logiikallisesti siten, että jos jännitetaso laskee $4,85 \pm 0,10$ VDC:n alapuolelle, tulee punaisen LED:n syttyä ilmaisemaan akkupaketin lataustarpeesta. Jos jännite laskee vielä $4,22 \pm 0,10$ VDC:n alapuolelle, koko GPS LOGGER kytkeytyy pois käytöstä ja kaikki LED-valot sammuvat. Jotta nämä edellä mainitut jännitetasot pystyttiin testaamaan, tuli akkupaketin tilalle asettaa jännitelähde ja sen rinnalle yleismittari näyttämään tarkkaa jännitetasoa. Jännitteen valvontapiirin testaus pystyttiin toteuttamaan jännitettä laskemalla edellä mainittujen jännitetasojen ohi ja toteamalla LED-valojen indikaatiot. /7/

RS_RXD0 ja RS_TXD0 –latauslinjat

GPS-moduuliin asennettava ohjelmisto ladataan testausliittimen kautta käyttäen RS_RXD0 ja RS_TXD0 –latauslinjoja. Latauslinjat tuli myös testata, jotta voitiin varmistua johdatusten asennuksista sekä osaltaan myös GPS-moduulin toimivuudesta. RS_RXD0 ja RS_TXD0 –latauslinjojen toimivuus todennettiin asentamalla uudelleen GPS-moduuliin ohjelmisto. Ohjelmiston laaamiseen tarvittiin GPS-moduulin valmistajan laatimaa Evaluation Kit –ohjelmaa. Evaluation Kit -ohjelmaan ladattiin tarvittava ohjelma jonka jälkeen ohjelma siirrettiin GPS-moduuliin. /7/

Lentokoneen verkoston TOP-linja

Lentokoneesta voidaan myös antaa aikamerkki, joka tallentuu GPS-moduulin Flash-muistiin. TOP-linja tuli myös testata, jotta voitiin varmistua GPS LOGGERin osalta johdatusten sekä osaltaan GPS-moduulin toimivuudesta. Jotta voitiin simuloida lentokoneen antamaa aikamerkkiä, tuli katkoa 28 VDC – jännitettä TOP-linjassa. Aina kun 28 VDC katkaistaan, tulee aikamerkin asettua GPS-moduulin Flash-muistiin. Flash-muistissa olevat tiedot voidaan tarkastella Windowsin Notepad-ohjelmalla. /7/

Olosuhdetestaukset

GPS-moduulin luotettavuus oli koko GPS LOGGER -projektin suurin huolenaihe, koska rakenteeltaan moduuli oli heikkorakenteinen. GPS-moduuli tuettiin niin hyvin kuin se oli mahdollista, jotta se kestäisi kaikki toiminta- sekä olosuhdetestaukset, jotka GPS LOGGERille oli määritelty. Varsinkin olosuhdetestauksilla GPS-moduulin kestävyys oli todennettava huolellisesti, jotta voitiin varmistua sen toimivuudesta lentokoneympäristössä.

Kaikki rakenteet sekä muut komponentit joutuvat koviin testausolosuhteisiin. Kaikki komponentit pois lukien GPS-moduuli on kuitenkin valittu siten, että niiden pitäisi kestää olosuhdetestaukset. Kuitenkin laitteen kokonaisuus ratkaisee, kestäkö GPS LOGGER kaikki vaaditut olosuhdetestaukset. Olosuhdetestaukset käsittävät testaukset, joilla pystytään varmistumaan GPS LOGGERin oikeasta toiminnasta erilaisten olosuhteiden vallitessa. Testaukset tulee suorittaa laitteen valmiilla kokoonpanolla sekä erityyppisillä olosuhdetestauslaitteistoilla.

Kiihtyvyydestaus

Asiakas oli määritellyt vaatimusmäärittelyyn (GPS LOGGER Vaatimusmäärittely versio B, 17.08.2004) kiihtyvyydestauksen vaatimukset, jotka GPS LOGGER:n tuli kestää. Vaatimukset olivat Mk. 51/51A Hawk -harjoitushävittäjän maksimi- ja minimilentotilakiihtyvyyksien mukaiset. Kiihtyvyydet, jotka GPS LOGGERin eri akselleille oli määritelty, on esitetty seuraavassa. (Taulukko 5.) /3/

Taulukko 5 Kiihtyvyydestauksen raja-arvot GPS LOGGERille /3/

Kiihtyvyyksaksi	Negatiivinen raja-arvo	Positiivinen raja-arvo
Z	-4 G	+8 G
X	-1 G	+1 G
Y	-1 G	+1 G

GPS LOGGER asennetaan kiihtyvyydestauslaitteeseen, jota pyöritetään kiihtyvällä vauhdilla niin kauan, kunnes määritelty raja-arvo tulee vastaa. Jokaiselle akselille tehdään kiihtyvyyssrasitus molempiin suuntiin (positiivinen sekä negatiivinen).

Satunnaistärinätestaus

Lentokoneessa esiintyy paljon tärinätyyppistä räsitusta, joka on erittäin haitallista, ja se pystyy saattamaan laitteen pitkällä ajanjaksolla epäkuuntoon. Kaikille lentokonelaitemalleille tulee tehdä tärinätestaukset, jotka simuloivat mahdollisimman hyvin tilannetta, jota laite tulee ottamaan vastaan lentokoneeseen kiinnitettynä.

Tähtäimessä aikaisemmin asennettuna olleelle kameralaitteelle valmistaja oli määritellyt ja tehnyt satunnaistärinätestauksen, jota voitiin käyttää viitteenä ja hyödyntää myös GPS LOGGERin satunnaistärinätestausta suunniteltaessa. Samanlainen satunnaistärinätestauksen toimintamalli löytyi myös standardista MIL-STD-810F 514.5. Satunnaistärinätestaus tehdään jokaiselle kolmelle kiihtyvyykselle erikseen, jossa yhden testijakson pituus on 10 minuuttia. GPS LOGGERille tehtävän satunnaistärinätestauksen toimintamalli on esitetty seuraavassa. (Taulukko 6.) /3/

Taulukko 6 Satunnaistärinätestauksen tärinätasot /3/

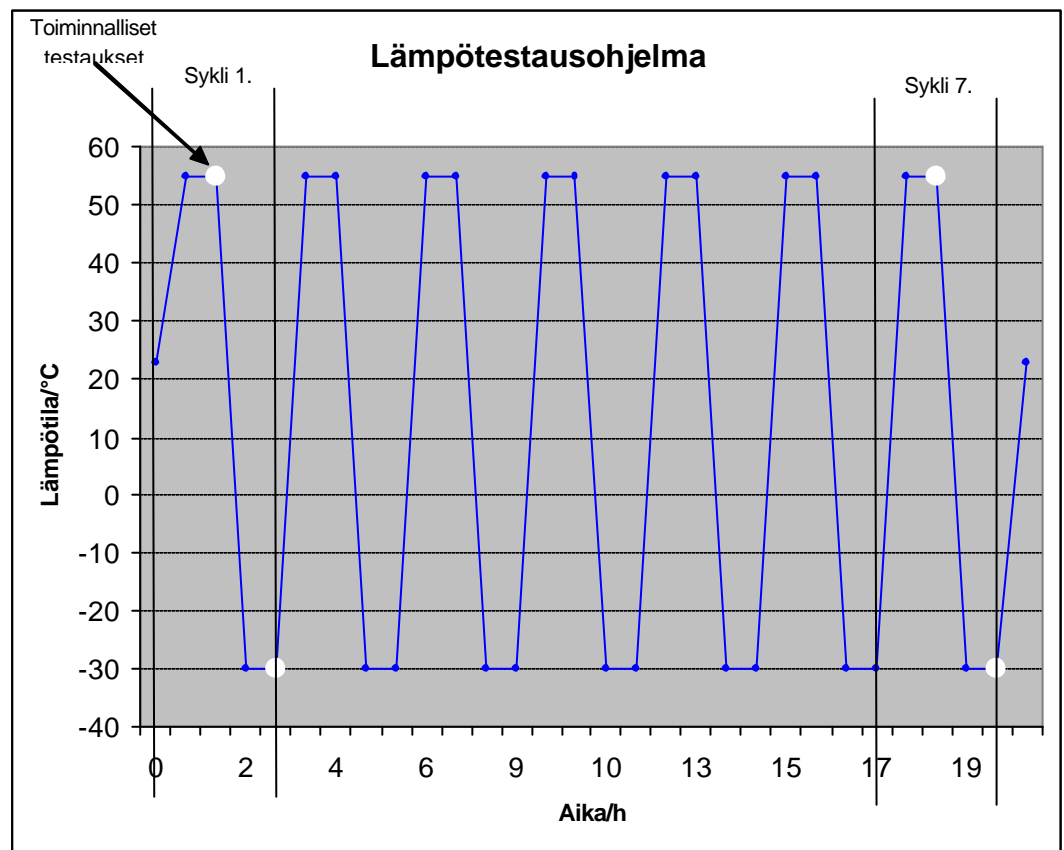
Taajuus	Amplitudi
20 – 80 Hz	+3 dB/oct
80 – 350 Hz	0,02 G ² /Hz
350 – 2000 Hz	-3 dB/oct

Lämpötilatestaus

Lentokonelaitteet joutuvat toimimaan korkeissa ja matalissa lämpötiloissa sekä suurien lämpötilamuutosten vallitessa. GPS LOGGER asennetaan kuitenkin ainoastaan ohjaamoon, jossa lämpötilaerot eivät ole niin suuria kuin lentokoneen ulkopuolella. GPS LOGGERin lämpötilatestauksen suunnittelussa käytettiin apuna Mekel Series V-300A HUD/Gunsight –olosuhdetestausraporttia, jossa oli viitteelliset lämpötila-arvot, joita voitaisiin käyttää GPS LOGGER:n lämpötilatestaussuunnitelmaa tehdessä. Lämpötila- ja olosuhderaja-arvot, joihin päädyttiin on esitetty seuraavassa: /3/ /8/

- Testauslämpötila $-30\text{ °C} \dots +55\text{ °C}$
- Suhteellinen kosteus $5 \dots 95\text{ \% Rh}$
- Lämpötilan muutosnopeus 3 °C/min.

GPS LOGGER asetetaan olosuhdekaappiin, jonka lämpötilaa, kosteutta sekä lämpötilan muutosnopeutta voidaan säädellä. Lämpötilatestauksen kokonaispituus on hieman yli 22 tuntia, jonka aikana ajetaan 7 samanlaista lämpösykliä sekä tehdään toimintatestaukset siinä määrin kuin on mahdollista. Suunniteltu lämpötilatestausohjelma on esitetty seuraavassa. (Kuva 9.)



Kuva 9 GPS LOGGERin lämpötilatestausohjelma /7/

Iskutestaus

Lentokoneen törmäystilanteessa laitteiden tulee kestää standardin määrittelemät iskukestävyydet. GPS LOGGERille soveltuva iskutestaus on määritelty standardissa MIL-E-5400T kohta 3.2.24.6.1. GPS LOGGERille tehtävässä

iskutestauksessa laitteeseen kohdistetaan kolme (3) 15 G:n iskua jokaiselle kuudelle laitekotelon tahkolle. Yhden 15 G:n iskun kesto on 11 ms. /1/ /3/

Tiiveystestaus

Mk. 51/51A Hawkin ohjaamoon sijoitettu laite tulee olemaan tekemisissä veden kanssa silloin, kun kuomu on auki ja vettä sataa. Myös kuljetuksen aikana GPS LOGGER voi joutua veden kanssa kosketuksiin. Näistä syistä sekä MIL-STD-810F 506.4 standardin määrittelemistä ehdoista GPS LOGGERille tulee tehdä edellä mainitun standardin mukainen roiskevesitestaus. GPS LOGGERin roiskevesitestauksessa laitekoteloon kohdistetaan vesisuihku, jolla GPS LOGGER kastellaan ulkopuolelta täysin. Kastelun jälkeen veden annetaan vaikuttaa 30 min, ja sen jälkeen tehdään toimintatestaukset ja visuaalinen tarkastus. /2/ /3/

8 GPS LOGGERIN VALMISTUS

Tässä osassa käsitellään suunnitellun 0-sarjan GPS LOGGERin valmistukseen liittyneitä asioita yleisesti sekä mekaniikan ja elektroniikan osalta. Valmistuksen aikana tuli esiin myös erilaisia ongelmia, joita on käsitelty myös erillisenä osana.

Yleistä

GPS LOGGER -laitteiden valmistukselle tuli varata arvioitu valmistusajankohta noin kuukautta aikaisemmin ALS:n valmistusjaoksesta, jotta työtilanne myös muiden valmistusjaoksen tölle voitiin määritellä. Molemmille 0-sarjan GPS LOGGERille tuli varata valmistukseen yhteensä noin yksi (1) miestyökuukausi.

Vaikka projektin tässä vaiheessa alkoi valmistuksella olemaan hieman kiire, oli valmistuskuvat järkevää vielä kerran hyväksyttävä asiakkaalla. Valmistuskuvien hyväksyttämällä voitiin vielä varmistaa molempien osapuolien tyytyväisyys ja se, että laitteiden valmistusta ei aloitettu turhaan. Kahdesta 0-sarjan GPS LOGGER -laitteista valmistettiin ensin kokonaan toinen, jotta testaussuunnitelman mukaiset testaukset voitiin aloittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Koko valmistusprosessin aikana suunnittelulla sekä valmistuksella oli tiivis yhteistyö,

jotta kokonaisuus saatiin pidettyä hallinnassa sekä pienemmistäkin epäkohdista saatiin selkeä kuva, ja voitiin vielä mahdollisesti edesauttaa parempaan lopputulokseen. /3/

Mekaniikka

0-sarjan GPS LOGGERin mekaniikka valmistettiin kokonaisuudessaan ALS:ssa lukuun ottamatta valmiita komponentteja. Valmistus tehtiin valmistusdokumenttien perusteella, joihin valmistuksen aikana tuli vielä muutamia korjauksia ja lisäyksiä.

Muutamia yksittäisiä osia tuli lopuksi vielä maalata, jotta laitekokonaisuus oli yhdenmukainen sekä lentokoneen ohjaamoon soveltuva. Koko GPS LOGGERin tuli olla mahdollisuuksien mukaan mattamusta, jonka tarkoituksena oli olla huomaamaton sekä mahdollisimman vähän valoa heijastava väri. Kyseinen väri on käytössä muissakin Mk. 51/51A Hawk -harjoitushävittäjien ohjaamolaitteissa.

Vaatimusmäärittelyn mukaisesti 0-sarjan GPS LOGGERiin tuli kiinnittää laitekilpi, jossa on tarvittavat tiedot laitteen tunnistamiseksi ja yksilöimiseksi sekä sillä hetkellä GPS-moduulissa olevan ohjelmistoversion tietämiseksi. GPS LOGGER -laitteiden laitekilpiin merkittiin juokseva sarjanumerointi. /3/

Elektroniikka

GPS LOGGERin elektroniikka valmistettiin muilta osin ALS:ssa, mutta itse piirilevy valmistutettiin alihankkijalla. Piirilevyyn tuli kiinnittää erityyppisiä komponentteja, joiden tuli olla ALS:n laatujärjestelmän mukaisin toimenpitein tehty. Käytännössä se tarkoitti, että ainoastaan koulutuksen saanut henkilö sai tehdä elektroniikka-asennuksia, jotka tulivat valmiisiin 0-sarjan GPS LOGGER -laitteisiin.

Piirilevyn valmiiseen versioon tuli vielä muutoksia ja ne piti hyväksyä erillisinä ALS:n laatuosaston toimesta. Muutokset olivat siis normaalista elektroniikkatyöstä poikkeavia, mutta silti hyväksyttäviä. Johdatukset eivät täyttäneet täysin MIL-spesifikaatioiden mukaisia vaatimuksia, koska pelkästään jo lattakaapelia, joka oli

ainut vaihtoehto mm. GPS-moduulille ei ole saatavilla MIL-spesifioituna. Myöskään leveämpi lattakaapeli, joka tuli myös piirikortilta, ei ollut MIL-spesifioitu juuri edellä mainitusta syystä. Tämä johdatusrakenne oli kuitenkin GPS LOGGERin kannalta selkein ja yksinkertaisin tapa toteuttaa pienen kotelon elektroniikka.

Ongelmat

GPS LOGGERin etuseinään oli suunniteltu kytkimille sekä LED-valoille merkinnät, jotka oli määrä tehdä kaivertamalla laitekoteloon. Kaiverruksia ei kuitenkaan pystynyt tekemään suunnitellulla tavalla, koska valmistusjaoksen kaiverruskoneeseen ei GPS LOGGERin laitekoteloa voinut kiinnittää. Laitekotelon etuseinään suunniteltiin alumiininen levy, joka kiinnitettiin kytkinten ja LED-valojen avulla laitekotelon etuseinään. Alumiiniseen levyyn voitiin kaiverruskoneella kaivertaa tarvittavat kaiverrukset.

Ensimmäinen GPS LOGGER tuli valmistaa valmiiksi mahdollisimman ajoissa, jotta testaukset päästiin aloittamaan. Kuitenkaan testauksiakaan ei päästy aloittamaan, vaikka ensimmäinen GPS LOGGER saatiin valmiiksi, koska siitä puuttui vielä LEMO-liitin, jonka ansiosta koko projekti myöhästyi alkuperäisestä toimitussuunnitelmasta. Myöskään LEMO-liittimen läpivientikohta laitekotelosta ei ollut aivan tarkalleen tiedossa, koska liitintä ei silloin vielä ollut fyysisesti nähty. LEMO-liittimen asennuskohta määriteltiin ainoastaan teknisten tietojen perusteella. Asennusvaiheessa huomattiin, että LEMO-liitin mahtui silti sille määriteltyyn asennuskohtaan, vaikkakin tilaa olisi ollut hieman sitä siirtää.

POWER-kytkimen asennusvaiheessa huomattiin, että asennusreikä oli suunniteltu hieman liian reunaan, jolloin kytkin otti kiinni piirilevyyn. Asennuskohta suunniteltiin mahdollisimman reunaan, koska tekstilevyn tarpeeksi isot tekstit eivät olleet mahtua niille määriteltyihin kohtiin. Korjaavana toimenpiteenä piirikortin paikkaa siirrettiin mahdollisimman paljon laitekotelon seinään päin lyhentämällä piirikortin kannaketorneja. Piirikorttia voitiin siirtää ainoastaan 1 mm, koska laitekotelon kiinnitysmutterit eivät antaneet enempää varaa. 1 mm kuitenkin oli

riittävästi, jotta POWER-kytkin saatiin asennettua sille määriteltyyn asennuskohtaan.

TRIG-kytkintä asennettaessa todettiin kytkimeen juotettavien johtimien tulevan niin lähelle akkupaketin kiinnityspantaa, että TRIG-kytkimen asentaminen olisi ollut mahdotonta asentaa, ellei akkupaketin kiinnityspantaa olisi pystynyt siirtämään 1 mm suoraan TRIG-kytkimestä pois päin. Kiinnityspannan siirtäminen ei kuitenkaan ollut aivan yksinkertaista, koska laitekotelossa olevia kiinnityspannan ruuvien kohtia ei pystynyt muuttamaan, vaan kiinnityspannan kiinnitysreikien kohtia tuli siirtää. Myöskään kiinnityspannan kiinnitysreikien kohtaa ei voinut siirtää kuin 1 mm, mutta se oli riittävästi, jotta TRIG-kytkimen johtimet voitiin juottaa asianmukaisesti, ja juotosten päälle tulevat kutistesukat istuivat hyvin kohdalleen.

GPS LOGGERin johdatusvaiheessa tuli esiin ristiriita, jossa RS_RXD1:lle ja RS_TXD1:lle oli merkitty kahdet tulot piirikortin J1-liittimestä. Tilanne ei kuitenkaan aiheuttanut hankaluuksia, koska kahdet tulot olivat jääneet alustavasta piirikorttisuunnittelusta suunnitteluohjelmaan, ja viimeisessä piirikorttiversiossa toiset tulot olivat ainoastaan ylimääräiset. Näistä tuloista voitiin johdatusvaiheessa siis valita toinen käyttöön aiheuttamatta mitään ongelmaa.

9 TESTAUSSUUNNITELMAN MUKAISET TESTAUKSET JA TULOKSET

Tämän osan tarkoituksena on selventää miten 0-sarjan GPS LOGGER tarkkaan ottaen testattiin, jotta se voitiin hyväksyä lentokelpoiseksi laitteeksi. Jokainen eri testauskohta on erillisenä otsikkonaan selkeyttämässä testausrakennetta.

Yleistä

0-sarjan GPS LOGGER -laitteista oli tähän mennessä valmistettu ainoastaan yksi, jolle kaikki tarkastukset ja testaukset tehtiin. Jos tarkastuksissa tai testauksissa olisi havaittu isoja ongelmia, olisi ollut turhaa valmistaa muita 0-sarjan laitteita, koska samat ongelmat olisivat olleet todennäköisesti myös niissä.

Näissä testauksien sekä tulosten arvioinneissa keskitytään ainoastaan ALS:n suunnittelemiin sekä tekemiin testauksiin. ALS:n testauksien jälkeen testaukset jatkuivat vielä asiakkaan toimesta. Asiakas teki GPS LOGGERille lisäksi törmäysturvallisuuden todentamisen, alipainetestaukset sekä johtuvien ja säteilevien sähkömagneettisten häiriöiden testauksen.

Ennen testaussuunnitelman mukaisia testauksia valmistettu GPS LOGGER hyväksyttiin ALS:n laatujaoksessa, jonka perusteella voitiin todeta, että GPS LOGGER täytti ALS:n laatuvaatimukset. Sen jälkeen asiakas katselmoi GPS LOGGERin ja totesi myös laitteen vaatimustensa mukaiseksi. Vasta tämän jälkeen voitiin aloittaa testaussuunnitelman mukaiset testaukset. Testaussuunnitelman mukaisia testauksia ei voitu tehdä aivan testaussuunnitelmassa laaditun järjestyksen mukaan, koska työtilanne obsuhdetestaajilla oli kiireinen sekä aikataulu oli niukka. Kaikki testaukset jouduttiin aikatauluttamaan tarkkaan. /4/

Visuaalinen tarkastus

Kaikista testaussuunnitelmassa esiintyneistä tarkastuksista ja testauksista visuaalinen tarkastus tehtiin ensimmäisenä, koska GPS LOGGER piti todeta mekaanisesti ehjäksi laitteeksi ennen kuin sille voitiin alkaa tehdä mitään muita testauksia. Visuaalisessa tarkastuksessa tarkastaja sai myös hyvän näkemyksen siitä, minkälainen laite oli ennen kuin se altistettiin rajuihin olosuhteisiin. Ensitarkastuksen perusteella tarkastaja pystyi vertaamaan uusintatarkastuksien tuloksia ja päättämään, olivatko GPS LOGGERin ominaisuudet muuttuneet olosuhdetestauksissa. Visuaalisten tarkastusten tulokset on esitetty testauspöytäkirjassa. (Liite 10.)

Toiminnalliset testaukset

Testaussuunnitelman mukaisiin toimintatestauksiin kuului:

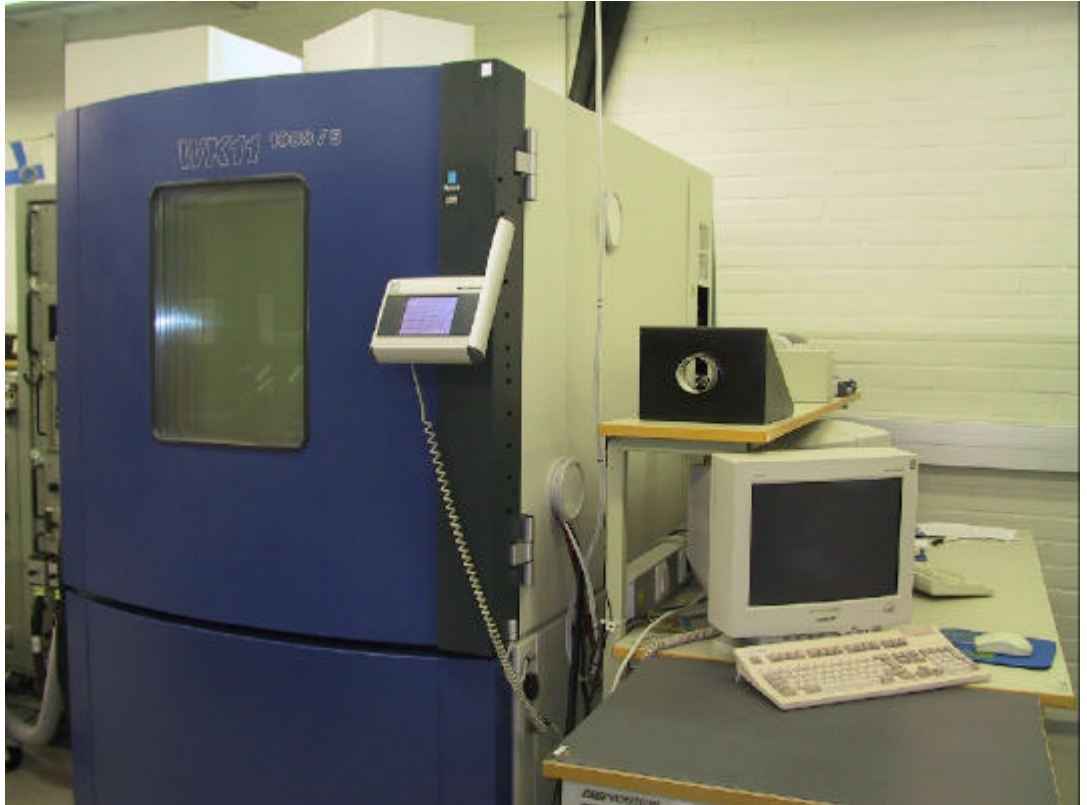
- Jännitteen valvontapiirin testaus
- POWER ja TRIG –kytkimien toiminta
- GPS –moduulin testaus käyttäen akkuja sekä verkostojännitettä
- GPS –ohjelmaversion tarkastus
- RS_RXD0 ja RS_TXD0 –latauslinjojen testaus
- Lentokoneen verkoston TOP–linjan testaus.

Ensimmäinen toiminnallinen testaus oli jännitteen valvontapiirin testaus, koska se voitiin tehdä ainoastaan akkupaketin ollessa kytkettynä irti GPS LOGGERista. Jännitteen valvontapiirin testauksen jälkeen akkupaketti kytkettiin GPS LOGGERiin ja voitiin valmistautua muihin toiminnallisiin testauksiin. Toiminnalliset testaukset tehtiin edellä mainitussa järjestyksessä, ja niiden jälkeen alettiin suorittaa olosuhdetestauksia. Toiminnallisten testausten tulokset on esitetty testauspöytäkirjassa. (Liite 10.)

Lämpötilatestaus

Lämpötilatestauksen yhtäjaksoisen pituuden johdosta testaus jouduttiin asettamaan kahdelle eri päivälle. Lämpötilatestauksen kokonaispituus oli hieman yli 22 tuntia, ja testauksen aikaiset toiminnalliset testaukset suoritettiin koko testausjakson alku- sekä loppupäässä. Lämpötilatestauksen tulokset on esitetty testauspöytäkirjassa. (Liite 10.)

Lämpötilatestauksesta tallennettiin sekä tulostettiin lämpötilatestausohjelmiston mukainen testaustuloste (liite 11), havainnot (liite 12) sekä yksittäinen testaustuloste tilanteesta, jossa testattiin sähkönsyöttöpiirien toimivuutta (liite 13). (Kuva 10.)

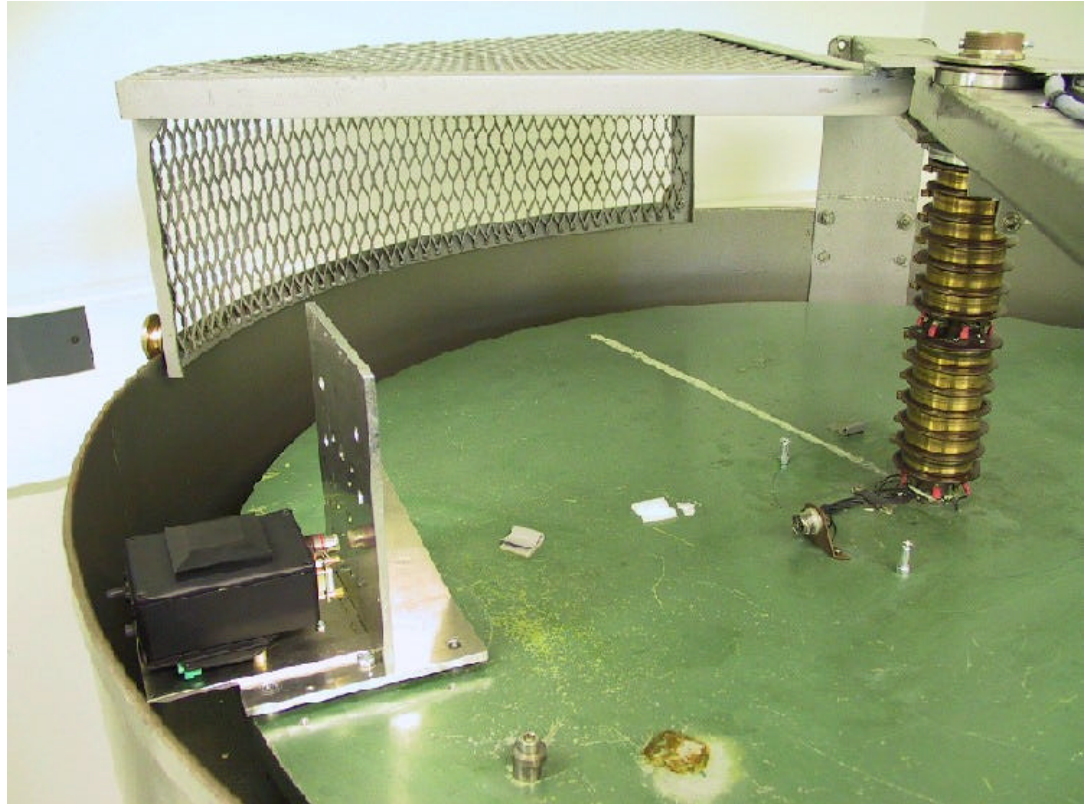


Kuva 10 GPS LOGGER lämpösyklitestauksessa olosuhdekaapissa

Lämpötilatestauksen suhteellisen rankka testausohjelma ei pystynyt vikaantuttamaan GPS LOGGERia, kuin ainoastaan korkeassa lämpötilassa. Vikaantuminen ei kuitenkaan aiheuttanut GPS-moduulille minkäänlaista toiminnallista vikaa, vaan vikaantuminen aiheutti ainoastaan jännitteen syötön vaihtelua.

Kiihtyvyydestaus

Kiihtyvyydestaus suoritettiin pyörityspöydän avulla, jossa testattava laite kiinnitettiin pyörítettävään pöytään. Pöytää pyörittämällä eri nopeuksia laitteeseen saatiin vaikuttamaan halutut keskeiskiihtyvyyssarvot. Koska GPS LOGGER tuli testata eri akseliensa suhteen erilaisissa kiihtyvyyssarvoissa, ja sen takia pyörityssäde oli aina eri mittainen, tuli jokaiselle eri testaukselle laskea erikseen testauspöydän pyöritysarvo. Kiihtyvyydestauksen tulokset on esitetty testauspöytäkirjassa (liite 10). Seuraavassa kuvassa on esitetty GPS LOGGERin asennus kiihtyvyydestauslaitteeseen, jossa testataan X-akselin suuntaista kiihtyvyyden sietokykyä. (Kuva 11.)



Kuva 11 GPS LOGGER X-suuntaisessa kiihtyvyydestestauksessa

Kiihtyvyydestaus ei aiheuttanut GPS LOGGERille minkäänlaista rakenteellista heikkoutta, joka olisi voinut aiheuttaa lisätoimenpiteitä.

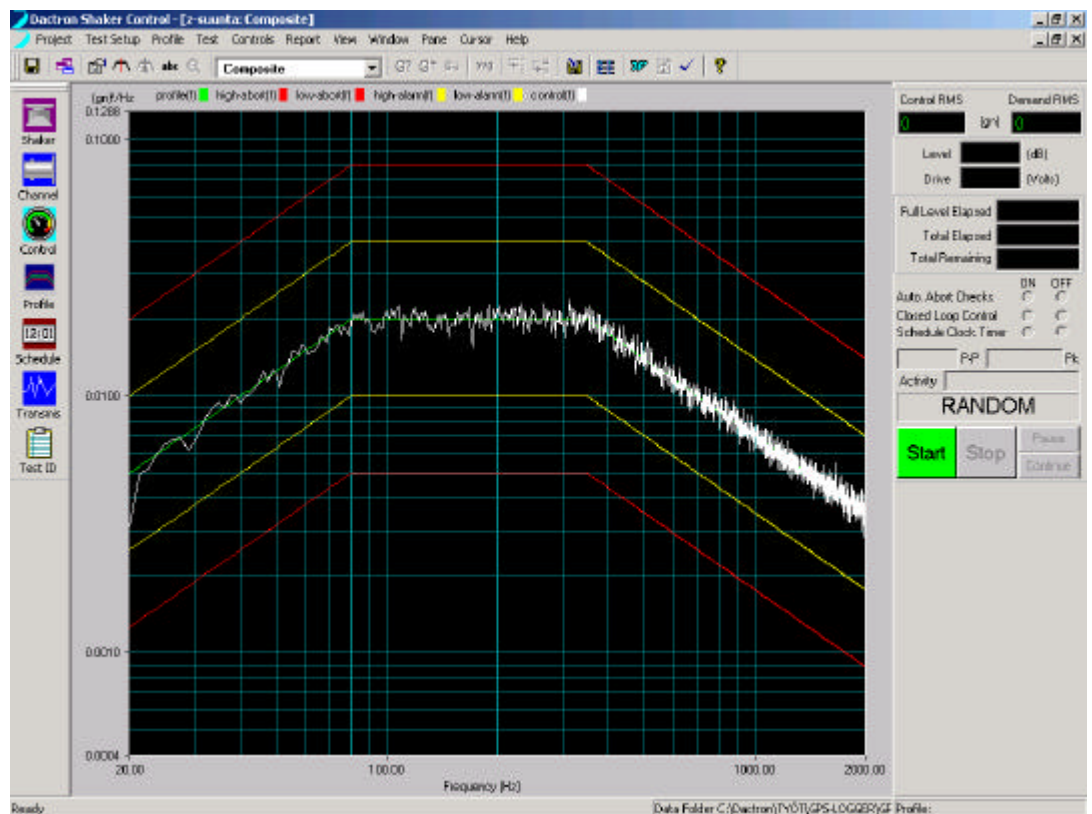
Satunnaistärinätestaus

Satunnaistärinätestaus suoritettiin laitteistolla, jossa GPS LOGGER kiinnitettiin sille erikseen suunniteltuun ja valmistettuun kiinnityspukkiin. Kiinnityspukin tuli olla erittäin massiivinen, jotta testauslaitteistosta kohdistetut voimat välittyivät mahdollisimman hyvin GPS LOGGERin rakenteisiin. Satunnaistärinätestauksen tulokset on esitetty testauspöytäkirjassa (liite 10). Seuraavassa kuvassa on esitetty GPS LOGGERin asennus satunnaistärinätestauslaitteeseen, jossa testataan Y-akselin suuntaista satunnaistärinän sietokykyä (kuva 12).

Satunnaistärinätestauslaitteistosta saatiin tallennettua myös kaikkien testauksen tulokset. (Kuva 13.)



Kuva 12 GPS LOGGER Y-suuntaisessa satunnaistärinätestauksessa

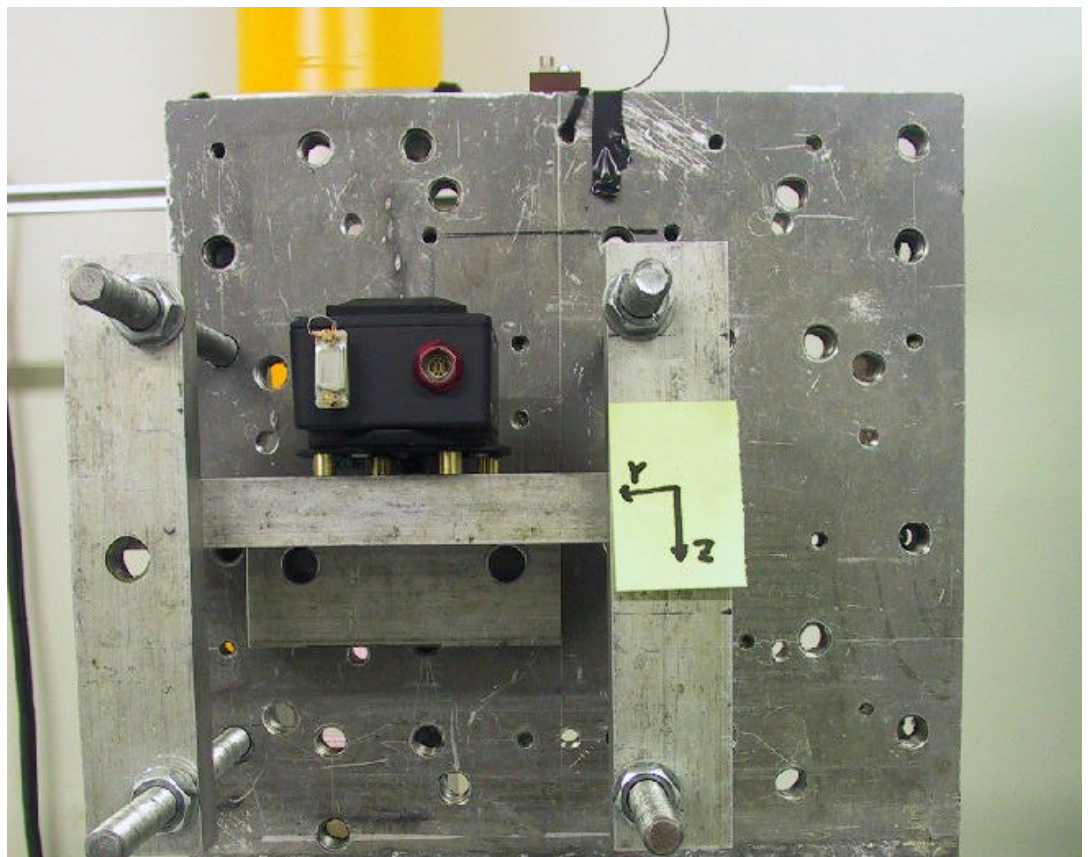


Kuva 13 GPS LOGGER:n Z-suuntaisen satunnaistärinätestauksen vaste

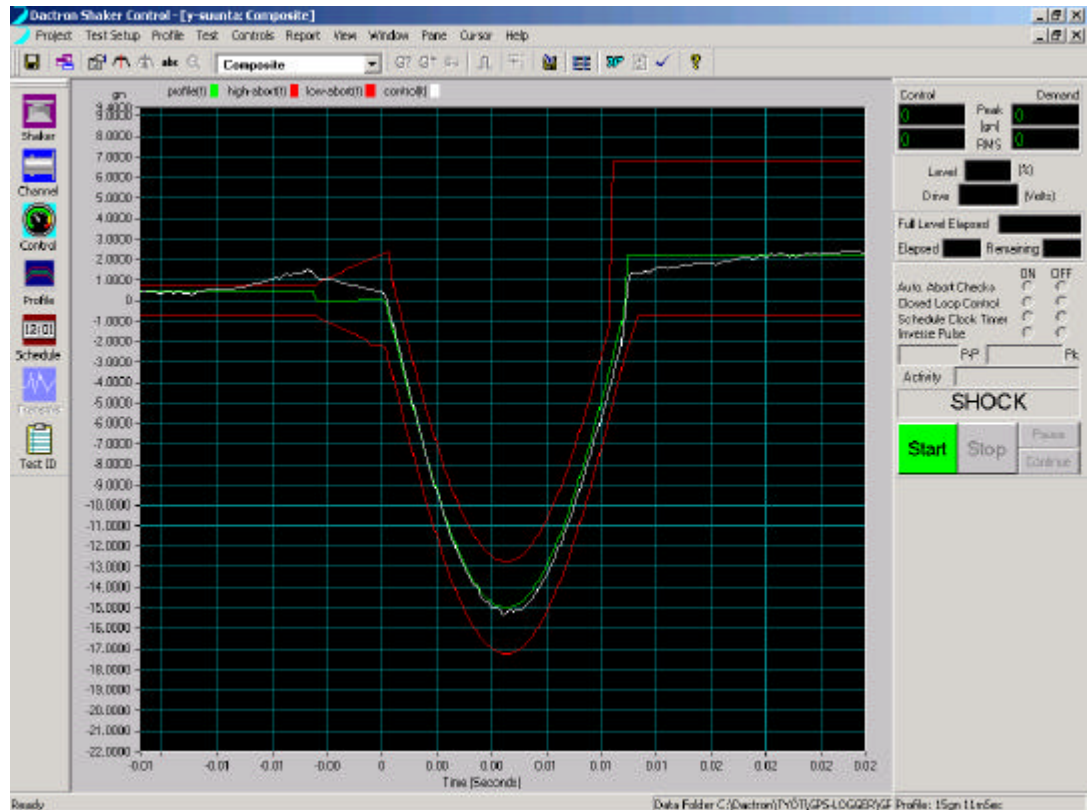
Satunnaistärinätestauksessa ei havaittu mitään suurempia ongelmakohtia. Ainoana mainitsemisen arvoisena asiana olivat GPS-moduulilta lähtevä lattaakaapeli sekä osa niputetuista johtimista. Lattaakaapeli sekä johtimet olivat hankautuneet tärinän ansiosta, ja niiden paikkaa jouduttiin siirtämään toisessa 0-sarjan laitteessa.

Iskutestaus

Iskutestaus tehtiin GPS LOGGERille samalla laitteistolla sekä samoilla kiinnitysmekanismilla kuin satunnaistärinätestauskin. Ainoana erona iskutestauksessa satunnaistärinätestaukseen oli testausohjelma, jolla laitteen rakenteellisia sietokykyjä voitiin todentaa eri tavoin. Iskutestauksen tulokset on esitetty testauspöytäkirjassa (liite 10). Seuraavassa kuvassa on esitetty GPS LOGGERin asennus iskutestauslaitteeseen, jossa testataan Z-akselin suuntaista iskujensietokykyä (kuva 14). Iskutestauslaitteistosta saatiin tallennettua myös kaikkien testausten tulokset. (Kuva 15.)



Kuva 14 GPS LOGGER Z-suuntaisessa iskutestauksessa



Kuva 15 GPS LOGGER:n Y-suuntainen iskutestausvaste

Iskutestauksessa heikoimmiksi kohdiksi GPS LOGGERissa osoittautui peitelevyn kiinnityskorvakkeet. Kiinnityskorvakkeista osattiin jo alun perin odottaa, että ne voivat pettää, mutta testaukset osoittivat, että ne ainoastaan löystyivät hieman.

Tiiveystestaus

Tiiveystestaukseen ei ollut saatavilla siihen tarkoitettua testauslaitteistoa, joten testaus jouduttiin tekemään soveltaen erityyppisiä tiiveystestauksia.

Tiiveystestauksen tulokset ovat esitetty testauspöytäkirjassa (liite 10). Seuraavassa kuvassa on esitetty GPS LOGGERin tiiveystestaus tilanne, jossa vettä on sumutettu laitteen päälle 10 minuuttia ja jätetty sen jälkeen imeytymään. (Kuva 16.)



Kuva 16 GPS LOGGER Tiiveystestauksessa

Tiiveystestauksen tulokset olivat hyvät, koska kosteus ei päässyt imeytymään mistään kohtaa GPS LOGGERin laitekotelon sisäpuolelle. Heikoimpana kohtana tiiveyden osalta GPS LOGGERissa oli D9P-sarjaporttiliitin, mutta koska sitä suojaamaan oli suunniteltu kiinnitettävä suojakupu, ei vesitiiveyden kanssa tullut ongelmia.

10 VALMIS GPS LOGGER

Tässä osassa on kerrottu, millainen suunnitellusta 0-sarjan GPS LOGGER -laitteesta valmistuksen jälkeen tuli, sekä tärkeimmät tekniset tiedot sekä kuvat.

Tekniset tiedot:

Mitat:	Alumiininen laitekotelo	111 x 82 x 45 (mm)
Paino:		0,590 kg
Teho (28 VDC):	Vastaanotto	1,7 W
	Valmiustila	0,6 W
Toiminta-aika: (Vastaanotto)	28 VDC	Rajaton
	Akkukäyttö	noin 18 tuntia

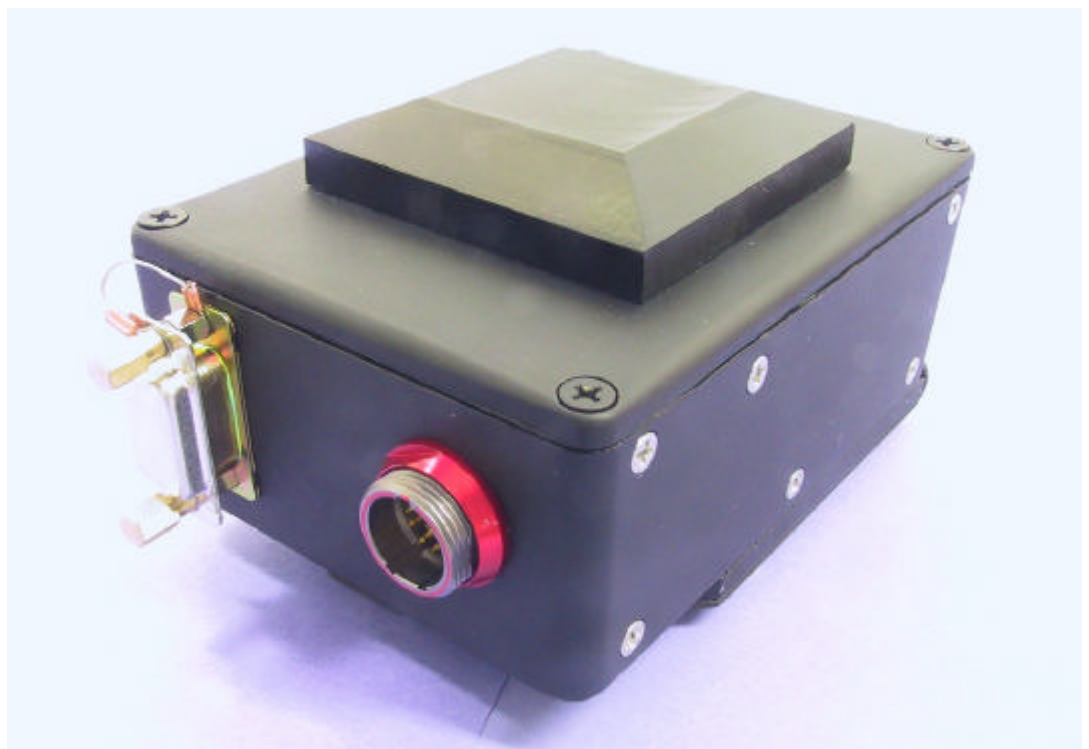
Seuraavissa kuvissa on esitetty valmis 0-sarjan GPS LOGGER. Kuvat ovat etuviistosta (kuva 17), käyttäjän näkökulmasta (kuva 18), takaviistosta (kuva 19) sekä alaviistosta (kuva 20).



Kuva 17 Valmis 0-sarjan GPS LOGGER kuvattuna etuviistosta



Kuva 18 Valmis 0-sarjan GPS LOGGER kuvattuna käyttäjän näkökulmasta



Kuva 19 Valmis 0-sarjan GPS LOGGER kuvattuna takaviistosta



Kuva 20 Valmis 0-sarjan GPS LOGGER kuvattuna alaviistosta

11 GPS LOGGERIN JATKOKEHITYS

Lentokoneissa olevien laitteiden painolla sekä koolla on suuri merkitys. Jos GPS LOGGER -laitteita tulisi valmistaa suuri sarja, olisi fyysisten mittojen pienentäminen, suhteessa yhden laitteen hintaan kohtuullista toisin kuin 0-sarjan GPS LOGGERissa. Laitetekotelon voisi valmistaa juuri sen kokoiseksi kuin olisi tarvetta, eikä tarvitsisi turvautua valmiisiin koteloihin, joiden kokovalikoima on rajattu sekä muut ominaisuudet erittäin rajalliset. Laitetekotelon koon pienennyttyä kaikkia komponentteja ei silti tarvitsisi vaihtaa, mutta esimerkiksi akkupaketin sekä piirikortin tulisi olla paljon pienemmät. Akkupaketissa esteeksi tulisi kapasiteetti, joka tänä päivänä on vielä suhteellisen rajallinen tarkasteltaessa NiCd-akkukennoja. Piirikortin pienentäminen ei olisi ongelma, mutta suunnittelulle tulisi varata tarvittavasti aikaa, koska piirikortti tulisi mahdollisesti olemaan kaksipuolinen sekä vähintään nelikerroksinen.

0-sarjan GPS LOGGERissa lentokoneen verkostoliittimeen jätettiin ylimääräisiä johdinpaikkoja mahdollisten modifikaatioiden varalle. GPS-moduulilta tuotiin verkostoliittimelle myös kaksi ylimääräistä signaalia, joita voidaan myöhemmin

mahdollisesti hyödyntää. Mahdollista GPS LOGGERin lisäsarjaa ajatellessa laitteen kiinnitys tähtäimeen voitaisiin toteuttaa siinä aikaisemmin olleen tähtäinkameran kiinnikkeillä, koska ne ovat jo valmiiksi testattu 700 gramman massalla, ja kiinnikkeitä olisi saatavilla vanhoista tähtäinkameroista.

0-sarjan GPS LOGGER -laitetta ei olisi myöskään vaikea muokata siviili-ilmailukäyttöön, lähinnä purjekoneisiin, ultrakeveisiin sekä experimentaleihin. Mitään ei tarvitsisi lisätä, mutta muutamia asioita voisi jättää kokonaan pois.

12 YHTEENVETO

Tässä GPS LOGGER –projektissa tuotettujen dokumenttien, laitteiden sekä asiakkaan panostuksen avulla pystyttiin kehittämään järjestelmä, jolla lennetty lentorata voitiin jälkeinpäin simuloida. Tämä järjestelmä asennettiin BAe Hawk Mk 51/51A –lentokoneeseen. GPS LOGGER –laitteella on mahdollista parantaa huomattavasti mm. lennetyn lennon läpikäymistä koelentojen jälkeen. Tavoitteena oli siis suunnitella ja rakentaa järjestelmä, joka mahdollistaa lentojen läpikäymisen jälkeinpäin. GPS LOGGERia voidaan käyttää mahdollisesti myös myöhemmässä vaiheessa ohjaajakoulutuksen apuna.

Tämän suunnittelu- ja valmistusprojektin tukena oli monia yrityksiä ja yhteistyökumppaneita. Niiden avulla päästiin kaikkia osapuolia tyydyttävään lopputulokseen. Lopputulokset testauksien ja valmistuksen osalta olivat yllättäviä, mutta silti asiakkaan vaatimusten mukaisia. Testauksien perusteella valmistettuihin GPS LOGGER –laitteisiin tuli tehdä vielä muutoksia. Muutokset olivat kuitenkin niin pieniä, että ne eivät johtaneet suunnittelun osalta enää toimenpiteisiin.

GPS LOGGER –projektin johtaminen ei aiheuttanut ongelmia projektihenkilöstön kanssa, vaan tiedonkulku sekä yhteistyö oli sujuvaa muutamaa alkukangertelua lukuun ottamatta. Kaiken kaikkiaan GPS LOGGERin suunnittelu- ja valmistusprojekti onnistui odotetulla tavalla sekä suhteellisen hyvässä aikataulussa.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

- 1 MIL-E-5400T kohta 3.2.24.6.1. Iskutestaus. DECO, Document Engineering CO, California. 16.11.1979
- 2 MIL-STD-810F 506.4. Roiskevesitestaus. Department of Defence, USA. 14.7.1989

Painamattomat lähteet

- 3 Jeskanen Kari. GPS LOGGER Vaatimusmäärittely, versio B, 17.8.2004. Lentotekniikkalaitos
- 4 Kettula Ville. GPS LOGGER Projektin ja laatusuunnitelma 21.10.2004. Instrumentointi Oy
- 5 Heinelo Hannu, koelentoinisinööri. Vierailu 27.1.2005. Koelentokeskus
- 6 LTLogger GPS –vastaanottimen sovitushjelma FMI, versio 0.4 käyttäjän ohje 23.7.2004. Lentotekniikkalaitos
- 7 Kettula Ville. GPS LOGGER Testaussuunnitelma, versio B, 16.12.2004. Instrumentointi Oy
- 8 Mekel Series V-300A HUD/Gunsight –olosuhdetestausraportti No. W4542-081504, 10.8.1993. Environment Associates, Inc
- 9 Pulakka Martti, Korjaukset tutkintotyön asiakokonaisuuteen, [sähköpostiviesti] 8.6.2005
- 10 Lentotekniikkalaitos, Tarjouspyyntö, 1.6.2004. Instrumentointi Oy:n sisäiseen käyttöön.
- 11 Lentotekniikkalaitos, Tarjous, 31.8.2004. Instrumentointi Oy:n sisäiseen käyttöön.
- 12 Lentotekniikkalaitos, Tilaus, 13.9.2004. Instrumentointi Oy:n sisäiseen käyttöön.
- 13 Instrumentointi Oy, Muistiot projektin ajalta. Instrumentointi Oy:n sisäiseen käyttöön.
- 14 Instrumentointi Oy, ALS:n sisäiset ohjeet, Instrumentointi Oy:n sisäiseen käyttöön.

- 15 Instrumentointi Oy, Laatukortti, 15.10.2004. Instrumentointi Oy:n sisäiseen käyttöön.
- 16 Instrumentointi Oy, Katselmuspöytäkirjat projektin ajalta. Instrumentointi Oy:n sisäiseen käyttöön.
- 17 Salminen Pekka, Osaluettelo, 16.12.2004. Instrumentointi Oy:n sisäiseen käyttöön.
- 18 Kettula Ville, Osaluettelo, 11.4.2005. Instrumentointi Oy:n sisäiseen käyttöön.
- 19 Instrumentointi Oy, Materiaalitulokset projektin ajalta. Instrumentointi Oy:n sisäiseen käyttöön.
- 20 Fastrax Oy, Puhelinkeskustelu 8.11.2004.

Sähköiset lähteet

- 21 Helsingin yliopisto. [www-sivu]. [viitattu 6.4.2005] Saatavissa: <http://keskus.hut.fi/opetus/s38118/s98/htyo/8/index.shtml>
- 22 Nagoya-u. [www-sivu]. [viitattu 6.4.2005] Saatavissa: <http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/member/tsugawa/research/research.html>
- 23 Lat-Lon. [www-sivu]. [viitattu 6.4.2005] Saatavissa: <http://www.lat-lon.com/gps.html>
- 24 Suomen Puolustusvoimat. [www-sivu]. [viitattu 5.4.2005] Saatavissa: www.mil.fi

LIITTEET

- 1 A0094HD01 GPS LOGGER kotelo
- 2 A0094HD04 Peitelevy sekä akkujen kiinnike
- 3 A0094HD03 Kotelon reijitykset
- 4 A0094HD02 GPS:n suoja
- 5 Vertailutulokset GPS –moduulin vastaanotolle
- 6 A0094HD05 Välilevy
- 7 Patch Antenna Module with the iTrax02 GPS Receiver
- 8 A0094CD1 Piirikaavio
- 9 A0094WD1 Johdatuskaavio
- 10 Testauspöytäkirja GPS LOGGER
- 11 Lämpötestaustuloste 1
- 12 Lämpötilatestauksen havainnot
- 13 Lämpötestaustuloste 2