



# VÄYLÄTALLENNIN

Ville Kautto

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Kone- ja laiteautomaatio

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Kone- ja laiteautomaation suuntautumisvaihtoehto

VILLE KAUTTO  
Väylätalennin

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteinä 1 sivu  
Toukokuu 2014

---

Opinnäytetyön aihe oli väylätalennin, minkä hankkimista suunnitellaan Patrialle. Väylätalenninilla tarkoitetaan MIL-STD-1553-väyläliikenteen talennin/seuranta järjestelmää.

F-18 Hornet:n järjestelmät kytkeytyvät toisiinsa MIL-STD-1553-väylän avulla. Hornetissa on myös MIL-STD-1760-väylä, jota käyttää asejärjestelmä. Toiminnaltaan nämä väylät ovat samanlaisia, mutta MIL-STD-1760 on kehittyneempi versio MIL-STD-1553-väylästä. Opinnäytetyössä keskityttiin MIL-STD-1553-väylän toimintaan. Työssä käydään läpi väylän toimintaperiaate, sanomasisällöt ja minkälaisia viestejä väylällä kulkee.

MIL-STD-1553-väylän toiminta perustuu kysely-vastaus-periaatteeseen. Väylällä voi olla kolmenlaisia komponentteja väyläohjain, etäterminaali ja väylämonitori. Väyläohjaimen kautta hoidetaan kaikki liikenne väylällä master-slave-periaatteella. Etäterminaalit eivät voi lähettää itseksensä viestejä väylällä.

Opinnäytetyössä oli tärkeää selvittää MIL-STD-1553-väylän toiminta, jotta voidaan selvittää mitä ja miten väyläohjaimen lähettämät viestit toimii. Näiden tietojen perusteella opinnäytetyössä tarkasteltiin markkinoilla oleviin väylätalennin vaihtoehtoihin. Työssä selvitettiin mikä väylätalennin sopisi Patrialle ja täyttäisi lentokoneella työskentelyn vaatimukset. Väylätalenninta olisi tarkoitus tulevaisuudessa käyttää Patrialla mahdollisten vikojen selvittämiseen huoltojen yhteydessä.

Tulevaisuudessa Hornetin ohjelmisto tulee vielä muuttumaan uudempaan versioon. Kokemuksella, joka edellisen ohjelmisto version käyttöönoton yhteydessä saatiin, voidaan suositella väylätalennin hankintaa. Opinnäytetyössä on otettu myös kantaa miksi ei väylätalenninta kannata hankkia. Lopputuloksena opinnäytetyön aikana tehtyjen tutkimusten mukaan väylätalennin hankintapäätös kannattaa tehdä vasta kun hankinnan kokonaiskustannukset ovat selvillä. Sen jälkeen voidaan selvittää onko väylämonitorin hankinta kannattava.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering  
Machine and Device Automation

VILLE KAUTTO  
Bus Monitor

Bachelor's thesis 54 pages, appendix 1 page  
May 2014

---

The subject of my Bachelor's thesis was the bus monitor which Patria is planning to acquire. The bus monitor is an MIL-STD-1553 bus traffic recorder/follow-up system.

The systems of F-18 Hornet are connected together with an MIL-STD-1553 bus. Hornet also has an MIL-STD-1760 bus, which is for the weapon system. The basic functions of these are almost similar but an MIL-STD-1760 bus is a developed version of the MIL-STD-1553 bus. This Bachelor's thesis focused on the MIL-STD-1553 function and examined the functionality of the bus, the message contents and the message format in the bus.

The function of the MIL-STD-1553 bus is based on a command/response principle. The main components of the bus are the controller, remote terminal and bus monitor. The bus controller is the master in the bus. Every function in the bus is controlled by the bus controller with the master/slave philosophy. The remote terminals cannot send any messages in the bus by themselves.

In this thesis it was very important to examine the protocol of the MIL-STD-1553 bus, in order to figure out how the bus controller manages the message traffic in the bus. Through this knowledge various bus monitors available in the market were compared in order to find out which bus monitor would meet Patria's needs and the requirements of the aircraft. By using the bus monitor Patria aims at working out possible system faults during aircraft maintenance.

In the future the software configuration of Hornet will be changed to a new version. With the experience gained through the earlier changes of software configurations, the purchase of the bus monitor can be recommended to Patria. The thesis also takes a stand on the grounds of not purchasing the bus monitor. The final result of the study of this thesis is that the decision on buying the bus monitor should be made only after the total costs of buying the bus monitor are known. Thereafter it will be clear whether the purchase of the bus monitor is profitable.

---

Key words: bus monitor, MIL-STD-1553, F-18 Hornet, Patria

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	YRITYSESITELY .....	8
2.1	Patria .....	8
2.2	F-18 Hornet.....	9
2.3	MLU, Mid-Life Upgrade .....	10
3	MIL-STD-1553 .....	12
3.1	Väylästandardin esittely.....	12
3.2	Väyläkomponentit.....	12
3.2.1	Bus Controller (BC), väyläohjain .....	13
3.2.2	Etäterminaali (RT), Remote Terminal .....	14
3.2.3	Väylämonitori (BM), Bus Monitor .....	15
3.3	Väylän rakenne ja kaapelointi.....	15
3.3.1	Laitteen liittyminen väylään.....	16
3.4	Väylätopologia.....	18
3.5	Väyläprotokolla .....	19
3.5.1	Komentosana.....	21
3.5.2	Datasana .....	22
3.5.3	Tilasana .....	23
3.6	Tiedonsiirto väylällä .....	23
3.6.1	Tiedonsiirto väyläohjaimelta etäterminaalille (BCRT-viesti).....	24
3.6.2	Tiedonsiirto etäterminaalilta väyläohjaimelle (RTBC –viesti).....	25
3.6.3	Tiedonsiirto etäterminaalilta toiselle (RTRT–viesti) .....	25
3.6.4	Moodikomentoviestit (MCC –viestit).....	26
3.6.5	Yleislähetysviestit .....	29
4	REAALIAIKAINEN VÄYLÄLIIKENTEEN SEURAIN, BUS MONITOR .....	30
4.1	Tarvittavat ominaisuudet .....	30
4.2	Toiminnot vianhaussa .....	32
4.3	Lentokoneella työskentelyn vaatimukset.....	34
4.4	Liittyminen lentokoneen väylään.....	36
5	LAITTEISTO .....	38
5.1	Tietokoneen vaatimukset .....	38
5.2	Kaapelit ja liittimet .....	39
5.3	Väyläkortti .....	41
5.4	Ohjelmisto.....	43
6	VÄYLÄTALLENTIMEN TOIMINNAN TOSITTAMINEN.....	49
6.1	Testaus .....	49

6.2 Laitteiston hyväksyminen .....	50
7 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	51
LÄHTEET .....	53
LIITTEET .....	54
Liite 1. Kytkenäkuva .....	54

**LYHENTEET JA TERMIT**

ADC	Airdata Computer
BIT	Built-in test. Itsetestaus
CSC	Control Converter System
DEGD	Laitteen toiminnantila, epäkunnossa
GO	Laite päällä ja kunnossa
LTJ	Lentotekninen järjestelmä
MC	Mission Computer
MLU	Mid-life Upgrade
MSP	Hornetin huolto koodi järjestelmä.
OP GO	Laite ei toimi täysin oikein
OVRHT	Laite käy lämpöisenä
PBIT GO	Laite on päällä, BIT testaus suorittamatta
RESTR	Laite vaatii uudelleen käynnistyksen.
TMT	Teknillinen muutos tiedote

## 1 JOHDANTO

F-18 Hornet:n toisessa elinkaaripäivityksessä MLU-2:ssa (Mid Life Upgrade) koneeseen tulee uusia järjestelmiä, uudet näytöt ja uusi ohjaamovideoiden tallennusjärjestelmä. Uudessa päivityksessä videoiden tallennusjärjestelmä muuttuu osittain digitaaliseksi. Tiedonsiirrossa siirrytään käyttämään enemmän väylätekniikkaa.

MLU-2 päivityksen suhteen on edetty siihen vaiheeseen, että sarjatuotanto on jo käynnissä. Patrialla tehtiin ennen sarjantuotannon alkua kaksi V&V (Validation&verification) konetta, C- ja D-malli. C- mallin on yksipaikkainen ja D-malli kaksipaikkainen Hornet hävittäjä, joista D-malli on muutokseltaan isompi, koska takaohjaamon näytöt vaihdetaan myös.

Koneeseen asennetaan tässä muutoksessa uusi ohjelmisto. Tästä johtuen koneeseen joudutaan tekemään massiiviset järjestelmätestaukset ja selvittämään mahdolliset ohjelmisto-ongelmat. Opinnäytetyössä keskityn selvittämään MIL-STD-1553-väylän toimintaa ja kuinka sitä pääsisi reaaliaikaisesti seuraamaan. Tavoitteena hankkia Patrialle reaaliaikainen väyläliikenteen seurantalaitteisto, jota pystyttäisiin käyttämään V&V:n jälkeen havaituissa testauksen ongelmissa ja mahdollisissa vikatapauksissa. Sarjatuotannon tässä vaiheessa on huomattu tarvetta väyläliikenteen tallentimelle, koska MLU2 jälkeisissä testauksissa havaitut viat ovat olleen suurelta osin laitevikoja. MLU2 muutoksen yhteydessä koneeseen asennettava verkosto testataan automaattitesterillä, jonka ansiosta voi todeta koneen verkoston olevan kunnossa. Mahdollisuus on kuitenkin että vanhassa verkostossa on vioittuneita johtimia.

MLU2 sarjatuotannon tässä vaiheessa on todettu tarvetta väylätallentimelle muutoksen jälkeisissä testauksissa. Opinnäytetyössä otetaan kantaa siihen minkälainen väylätallentimen pitäisi olla, mitä hyviä ja huonoja puolia tallentimesta olisi ja kuinka sitä pääsisi hyödyntämään sarjantuotannossa. Työssä tarkastellaan myös sitä, mitä vaatimuksia lentokonetyöskentely aiheuttaa väylätallentimen hankinnalle.

## 2 YRITYSESITTELY

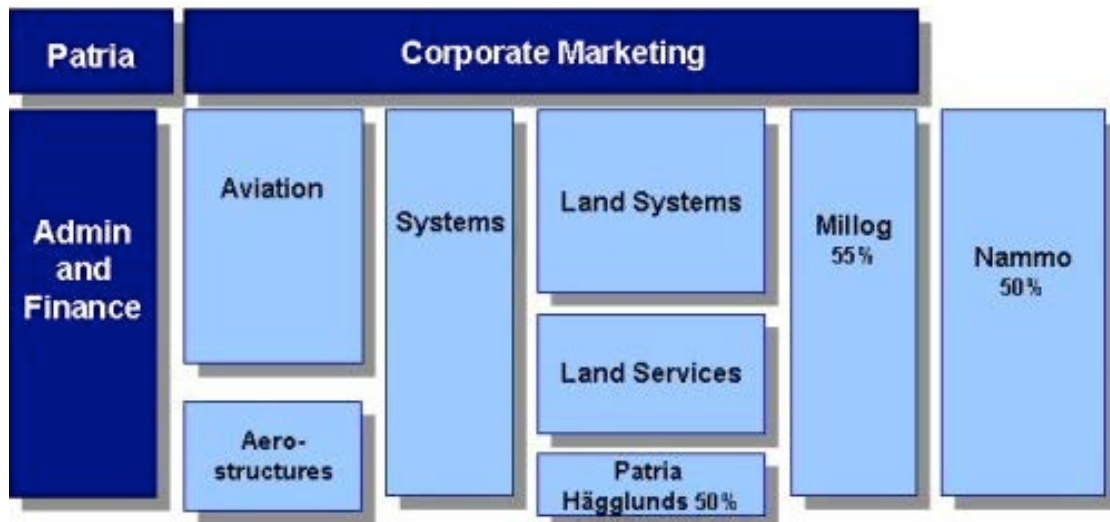
### 2.1 Patria

Patria on puolustus-, turvallisuus-, ja ilmailuteollisuusyritys, jonka toimintaan vaikuttavat Suomen ja erimaiden puolustusvoimien linjaukset ja uudisrakenteet. Patrian omistavat Suomen valtio 73,2 % ja European Aeronautic Defence and Space Company EADS N.V 26,8 %. Patrian tarjoamat tuotteet ja palvelut:

- Panssaroidut pyöräajoneuvot, kranaatinheitinjärjestelmät ja ampumatarvikkeet sekä näiden tuotteiden elinkaaren tukipalvelut.
- Lentokoneiden ja helikopterien elinkaaren tukipalvelut sekä lentäjäkoulutus.
- Maavoimien materiaalien kunnossapito Suomen puolustusvoimille.
- Tiedustelu-, valvonta- ja johtamisjärjestelmien kehitys ja integrointi sekä elinkaari tuki.

Nämä tuotteet on jaoteltu eri yksiköiksi Patrialla, mutta maavoimasektorin tilanne on talouskehityksen myötä muuttunut. Patria Land & Armament Oy:n tehtävät on jaettu kahdelle yhtiölle. Patria Land & Armament Oy nimi on muutettu Patria Land Services Oy:ksi. Tämä yhtiö keskittyy ajoneuvo- ja asejärjestelmätuotantoon, tarvittavaan hankintalogistiikkaan ja tuotteisiin liittyviin elinkaari palveluihin. Patrian tytäryhtiö Millog Oy toimii puolustusvoimien strategisena kumppanina ja tuottaa maavoimien puolustusmateriaalien elinjakson tukipalveluita. Patrian toiminta on jaettu alla olevan kuvaajan (Kuvio 1) mukaisesti. ([www.patria.fi](http://www.patria.fi)).





KUVIO 1. Patrian liiketoiminnallinen rakenne 1.1.2011 (www.patria.fi).

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Patria Aviation Oy. Aviation-liiketoiminta tarjoaa lentokoneiden ja helikoptereiden elinkaaren tukipalveluita pääasiassa virranomais- ja sotilasasiakkaille Pohjois-Euroopassa. Aviation tarjoamat tukipalvelut kattavat rungon, moottorin ja laitteiden huolto-, korjaus- ja modifiointipalvelut sekä lentokoulutuksen. Aviationin liiketoiminnan pääpaikat ovat Jämsän Halli, Nokian Linnavuori ja Tukholman Arlanda. Muita pienempiä toimintayksiköitä ovat Tampere, Tikkakoski, Linköping, Helsinki-Malmin lentoasema sekä Kauhava. (www.patria.fi).

## 2.2 F-18 Hornet

Boeing F-18 C/D Hornet-lentokone, johon opinnäytetyö liittyy, on yhdysvaltalaisvalmisteinen kaksimoottorinen monitoimihävittäjä. Rynnäkö ja torjuntahävittäjäksi soveltuva kone on pääasiallisesti suunniteltu lentotukialuskäyttöön. F-18 C/D on paranneltu malli aikaisemmasta A/B mallista. Tämän ko. konemallin tekniset tiedot on koottu alla olevaan taulukkoon (Taulukko 1).

TAULUKKO 1. F18 Hornet Tekniset tiedot. (www.puolustusvoimat.fi)

Pituus x Leveys x Korkeus	17,1 x 11,43 x 4,67 m
Massa	Tyhjäpaino 10 680 kg Maksimi lentoonlähtö 23 541 kg
Maksiminopeus	Matalalla 1300 km/h Korkealla 1,8 Mach
Lakikorkeus	15 000 m
Voimalaitteet	2 x GE F404-GE-402 -ohivirtausmoottoria
Aseistus	20 mm M61 Vulcan –tykki Infrapunaohjus: Sidewinder AIM-9X Tutkaohjus: Amraam AIM-120 B/C

Yhteensä Ilmavoimilla on käytössä 62 konetta, joista 55 on yksipaikkaisia C-mallin hävittäjiä ja 7 kaksipaikkaista D-mallinhävittäjiä. Kaikki C-mallin koneet on kokoonpantu Suomessa Patria Finavitec:lla. Kaksipaikkaisista koneista osa on kokoonpantu Yhdysvalloissa ja lennetty Suomeen. (www.puolustusvoimat.fi)

### 2.3 MLU, Mid-Life Upgrade

Kaikille Suomen Ilmavoimien Hornet:lle tehdään MLU päivitys. Tämä päivitys suoritetaan kahdessa osassa MLU-1 ja -2 vaiheessa. Kaikki koneet ovat käyneet läpi ensimmäisen MLU-1 päivityksen. MLU 1 –päivityksen keskiössä oli koneen ilma-

taistelukyvyyn ylläpitäminen ja kehittäminen. Koneet saivat lähitaistelua parantavan ky-  
päratähtäinjärjestelmän sekä uuden AIM-9X –version Sidewinder –  
infrapunaohjuksesta. Koneeseen asennettiin myös uusi CIT- omatunnistuskyselijä, joka  
helpottaa koneen tunnistamista taistelutilanteessa. Lisäksi otettiin käyttöön ohjaamonäy-  
töllä esitettävään liikkuvaan karttaan perustuva taktinen karttajärjestelmä.  
([www.puolustusvoimat.fi](http://www.puolustusvoimat.fi))

Toisessa muutosvaiheessa MLU-2:ssa, joka toteutetaan tulevina vuosina 2010–2016,  
suurimpana yksittäisenä kokonaisuutena Hornetteihin luodaan kyky ilmasta maahan-  
tulenkäyttöön. Tällä muutoksella voidaan tukea kaikkien Suomen Puolustusvoimien  
puolustushaarojen taistelua ja yhteisoperaatiota. MLU-2:n yhteydessä päivitetään myös  
Hornetin aseistusta ja otetaan käyttöön AMRAAM –tutkaohjuksen uusin versio. Uutena  
aseistuksena Hornetteihin tulee JDAM, JASSM ja JSOW ilmasta maahan ohjukset. Ko-  
neen suunnistusjärjestelmät päivitetään ja koneeseen asennetaan uusi järjestelmä Link-  
16, joka on kansainvälisesti yhteensopiva tiedonsiirtojärjestelmä. Lisäksi Hornetin oh-  
jaamonäytöt vaihdetaan uusiin LCD-näyttöihin ja koneen sensoreita ja omasuojajärjes-  
telmiä parannetaan. Koneen ohjelmistot päivitetään, sekä suoritetaan mittavia rakenne-  
korjauksia. Näillä toimenpiteillä saadaan Hornetin elinikää kasvatettua ja koneilla pys-  
tytään lentämään niille suunniteltu lentotunti määrä. ([www.puolustusvoimat.fi](http://www.puolustusvoimat.fi)).

### 3 MIL-STD-1553

#### 3.1 Väylästandardin esittely

MIL-STD-1553-standardin kehittäminen on saanut alkunsa jo 1960-luvulla, jolloin sotilaslentokoneiden radio- ja avioniikkajärjestelmien määrä rupesi koneissa kasvamaan tekniikan kehittymisen myötä. Ennen väylätekniikkaa kehittymistä kaikki tieto vietiin laitteesta toiseen suorilla johdotuksilla, mikä on asennettavuuden, huollettavuuden ja koneen massan takia epäedullista. Puolijohdetekniikka mahdollistaa lukuisat yksittäiset signaalikaapeloinnit korvattavan digitaalisella väylällä. MIL-STD-1553:n ensimmäinen versio esiteltiin yleisölle vuonna 1973, joka oli asennettu General Dynamicsin F-16 Hävittäjäkoneeseen. Tästä eteenpäin on valmistettu lukuisia erilaisia väylää hyödyntäviä ilma-aluksia ja muita järjestelmiä. (MIL-HDBK-1553A 1988)

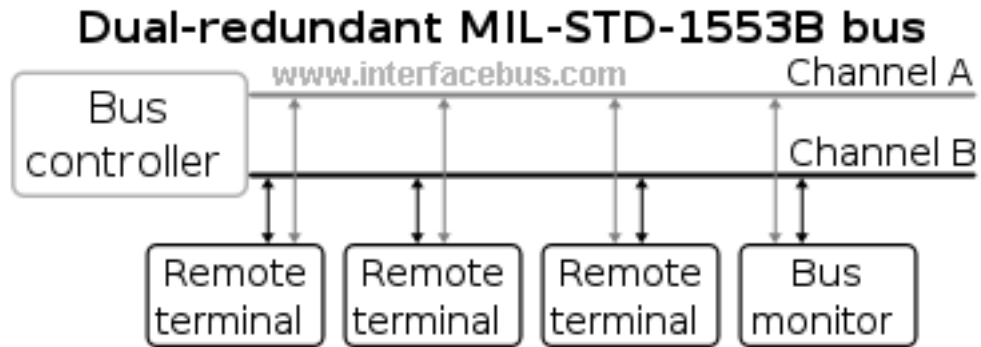
Vuonna 1984 julkaistu MIL-HDBK-1553 on laaja sovellus opas standardeille; se koostuu suunnittelu ja testausohjeistuksen lisäksi muun muassa lukuisista käytännön esimerkeistä. (MIL-HDBK-1553A 1988)

MIL-STD-1553-standardi määrittelee aikajaksoisen sarjaväylän sähköiset ja toiminnalliset ominaisuudet. Väylä siirtää tietoa 1 Mb/s nimellisa nopeudella suojatuissa parikaapeleissa. Väylä on kahdennettu koko väylän osalta, joka tarkoittaa kahta eri kanavaa. Toisen kanavan vikaantuessa toisella kanavalla väylä pystyy toimimaan. Väyläliikenne standardi on tarkoin määritelty ja tiukkojen ajoitusvaatimusten takia se on erittäin reaaliaikainen ja tarkka. (MIL-HDBK-1553A 1988)

#### 3.2 Väyläkomponentit

MIL-STD-1553-väylällä on kolmea erilaista päätelaitetta mitkä on sallittuja asentaa väylään:

- Bus Controller (BC).
- Remote Terminal (RT)
- Bus Monitor (BM)



KUVIO 2. MIL-STD-1553-väylän komponentit. (Aim GmbH 2010)

### 3.2.1 Bus Controller (BC), väyläohjain

Väyläohjaimen päätoiminto on kontrolloida kaikkea dataliikennettä väylällä. Jonka lisäksi BC lähettää, vastaanottaa ja koordinoi lähetyksiä väylällä. Kaikki informaatio on kommunikoitu käsky/vastaus muodossa. Väyläohjain lähettää viestin etäterminaalille joka lähettää vastauksen takaisin väyläohjaimelle. (Aim GmbH 2010)

Väyläohjain on väylän toiminnan kannalta keskeinen laite, joka aloittaa kommunikaation etäterminaalien kanssa. Hornetissa väyläohjain MC (Mission Computer) ensimmäisenä lähettää etäterminaalille equipment ready signaalin, jolla se varmistaa etäterminaalin toiminnan. Väylällä voi olla useitakin väyläohjaimia, mutta yksi niistä voi olla aktiivisena kerallaan. Tämä rakenne mahdollistaa väylän viestien ajoitusten toistettavuuden luotettavasti, jonka takia viestien törmäykset ovat lähes mahdottomia. Hornetissa ei esitetä törmäyksiä vaan laite lähettää satunnaisesti sanomia. Tämä tarkoittaa sitä että väyläohjain ei seuraa viestien törmäyksiä vaan se lähettää viestejä useasti, jolla se seuraa viestien kulkeutumista.

Normaali väyläohjaimendatasanoma sisältää lähetyksäkäskyt etäterminaalille ennakkoon määritellyssä ajassa. Lähetyksäkäskyt voivat sisältää tietoa tai pyynnön jostain tiedosta mukaan lukien tieto etäterminaalin tilasta. Väyläohjaimella on kyky muuttaa väyläsanomien muotoa, riippuen missä tilassa lentokone on. Väyläohjaimen erilaiset tilat voivat riippua siitä onko koneesta valittuna ilmasta maahan vai ilmasta ilmaan tila, koneessa on vikatilanne päällä tai kone on mekaanisessa tilassa. Väyläohjaimen on tunnistettava tilanmuutokset ja vastattava näihin. (Aim GmbH 2010; Alkkiomäki 2009; MIL-HBDBK-1553A 1988)

### 3.2.2 Etäterminaali (RT), Remote Terminal

MIL-STD-1553-väylän yleisimpiä laitteita ovat etäterminaalit (Remote Terminal, RT). Näitä laitteita saa olla yhdellä väylällä enintään 31 kpl, koska tämä määrä on standardissa määritelty ja on väylän toimivuuden takia enimmäismäärä. Nämä laitteet on suunniteltu liittämään alajärjestelmät MIL-STD-1553-väylään. Hornetissa yksi etäterminaali on Control Converter (CSC), joka yhdistää radioliikennelaitteet lentokoneen väylään. Tässä tapauksessa CSC ohjaa/ välittää väyläohjaimen komennot ja viestit radioliikennelaitteille, jotka ovat analogisia laitteita. CSC muuttaa ja välittää väyläohjaimen pyytämän analogisen tiedon eteenpäin väylällä. Alajärjestelmä on oma kokonaisuus, jossa voi olla useita toimintoja, jotka etäterminaali yhdistää MIL-STD-1553-väylään. Etäterminaalin tehtävä on valvoa kyseisen alajärjestelmän toimintaa ja toimia väyläohjaimen määrittämällä tavalla. Se myös välittää mahdolliset virhetoiminnot alajärjestelmästä väyläohjaimelle, joka välittää tiedon lentokoneenohjaajan näytölle. Tällä tavalla lentokoneenohjaaja tietää, jos jossain järjestelmässä/laitteessa on vikaa tai se ei ole toiminnassa. Etäterminaalin on kyettävä käsittelemään hyvin molempia protokollavirheitä (puuttuva data, ylimääräiset sanat, jne.) ja sähköisiä virheitä (aallonpituus, säröytyminen, aallonnousu aika). Edellä mainittuja protokollavirheitä tapahtuu väylällä joihin on kyettävä reagoimaan nopeasti. (Aim GmbH 2010)

MIL-STD-1553-standardi asettaa lukuisia vaatimuksia etäterminaalille. Etäterminaali saa ainoastaan vastata väyläohjaimen aloittamaan liikennöintiin, paitsi väyläohjaimen käskyttämänä se lähettää viestin toiselle etäterminaalille. Standardin mukaan osoite alue on etäterminaalissa viisi bittinen, jonka jälkimmäinen osa on yleislähetukseen. Kaikkiin oikeellisiin väyläohjaimen viesteihin on vastattava, pois lukien viestit mitkä on tarkoitettu kaikille. MIL-STD-1553-vaatii että etäterminaalin aloitettava viestiin vastaanminen 4-12  $\mu s$  sisällä vastaanotosta ja vastausviestin lähetyksen viipyessä yli 14  $\mu s$  väyläohjaimen tulee hylätä viesti. (Aim GmbH 2010; MIL-HBDK-1553A 1988)

### 3.2.3 Väylämonitori (BM), Bus Monitor

Väylämonitori on väylällä aktiivilaite, joka ei kuitenkaan osallistu väyläliikenteeseen. MIL-STD-1553-standardissa on tarkoin määritelty kohteet missä väylämonitoria voidaan käyttää. Väylämonitorille on yksi oma osoite, jos väyläohjain haluaa kysyä väylämonitorilta jotain. Väylämonitorin käyttökohteita ovat väyläliikenteen tallennus, testilentojen tallennus ja tehtävätietojen tallennus. Väylämonitorissa on usein myös etätermiinaali ja tyypillisesti nämä on integroitu toisiinsa. Tämä on hyvä siitä, että väyläohjain voi halutessaan tarkistaa väylämonitorin tilan. Väylämonitori voi olla myös varaväyläohjain, joka varsinaisen väyläohjaimen vikaantuessa voi keskeytyksellä jatkaa ohjaimena toimimista. Tämä vain silloin jos väylämonitoriin on integroitu etätermiinaali. (Aim GmbH 2010)

### 3.3 Väylän rakenne ja kaapelointi

MIL-STD-1553-standardissa määritellään, että väylän kaapelointi tulee tehdä suojatulla ja kierretyllä parikaapelilla, jonka ominaisimpedanssi on 70–85  $\Omega$ . Suojauksen ja kaapelien kiertämisen vuoksi signaali, mikä kaapelissa kulkee, ei häiriinny ulkopuolisista signaaleista. Alla olevasta taulukosta selviää kierretylle ja suojatulle parikaapelille asetetut standardin mukaiset vaatimukset. (MIL-HBDK-1553A 1988)

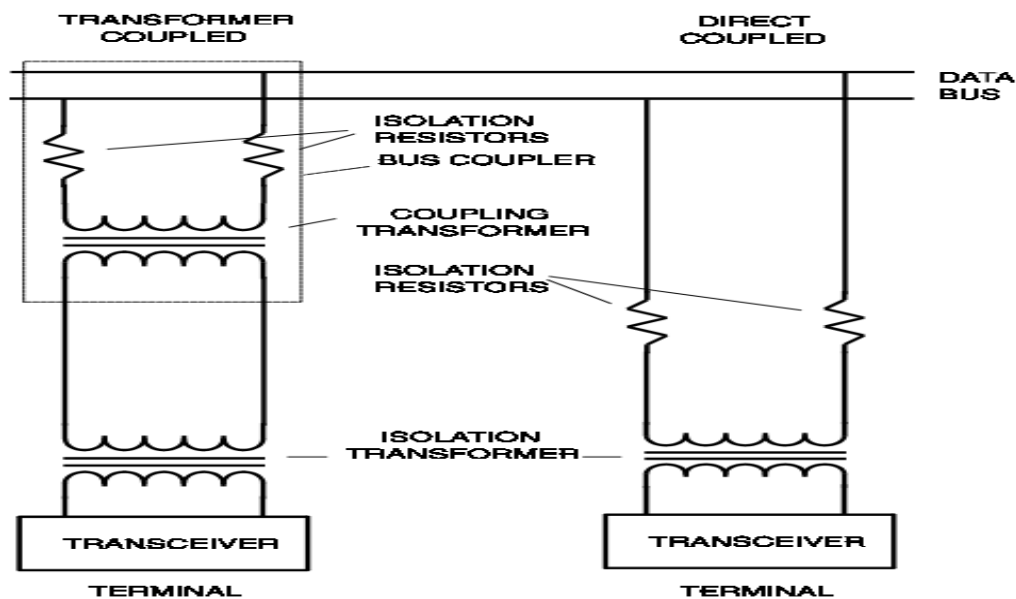
TAULUKKO 2. MIL-STD-1553-standardin mukaiset kaapelin ominaisuudet

Kaapeli	Kierretty ja suojattu parikaapeli
Kapasitanssi	30.0 pF/ft. max, johdosta johtoon
Ominaisimpedanssi	70.0-85.0 Ohms 1Mhz taajuudella
Kaapelin vaimennus	1.5 dB/100ft. max, 1Mhz taajuudella
Kaapelin kiertäminen	Min. 4 kierrosta 1ft kohden
Suojan kattavuus	90 % min.

MIL-STD-1553-standardin mukaisesti kaikki väylään kytkeytyvät laitteet on kahdennettu väylään, joka tarkoittaa että jokaiselle väyläkomponentille menee kaksi eri väylää: ensiö- ja toisioväylä. Väyläviesti kulkee kerrallaan vain toisessa väylässä, jonka väyläohjain määrittelee. Jos toinen väylä ei toimi, silloin väyläohjain ottaa automaattisesti käyttöön toisen väylän. (MIL-HBDK-1553A 1988)

### 3.3.1 Laitteen liittyminen väylään

Laitteen liittyminen väylään voidaan suorittaa kahdella eri tavalla: suoraan liittyminen tai muuntajan kautta liittyminen. Liittymistavat on esitetty kuvassa 2. Ideaalitulanteessa väylä on siirtolinja, jossa ei ole epäsovituksia aiheuttavia haaroituksia. Aktiivilaite pitää kytkeä väylään haaroittimen avulla, joka ei aiheuta heijastuksia siirtolinjaan. Jos laite kytketään suoraan ilman muuntajaa niin laitteen on sijaittava koneessa fyysisesti aivan väylän vieressä. Muuntajakytketyn laitteen sijoittaminen lentokoneympäristössä on paljon helpompaa, koska se voi sijaita fyysisesti kauempana. Suorakytketyn laitteen haaroittimen kaapelinpituus voi olla enintään 305 mm. Muuntajakytketyssä tämä sama pituus on 6,1 m. Kaapeleidenpituudet on merkitty MIL-STD-1553-standardiin hyvin tarkasti, koska nämä ovat pituudet joilla väylä toimii ongelmitta. Muuntaja kytketty laite aiheuttaa huomattavasti vähemmän heijastumisia signaaliin kuin suoraan kytketty.



KUVA 2. Suora- ja muuntajakytketty etäterminaali. (Aim GmbH 2010)

Suorakytkennällä laite on johdotettu suoraan väylään. Muunnin ja eristysvastukset ovat osa etäterminaalia, jotka suojaavat väylää jos etäterminaalissa tapahtuu esimerkiksi oikosulku tai se hajoo. Suorakytketty laite voi oikosulku tilanteessa pahimmillaan aiheuttaa koko väylän jumiutumisen. Suorakytkentä voi myös helposti aiheuttaa väylälle impedanssi epäsovivuuksia.

Muuntajalla liitetyissä etäterminaaleissa muuntaja ja eristysvastukset ovat etäterminaalissa itsessään. Tällä kytkennällä saavutetaan parempi impedanssisovitus ja korkeampi



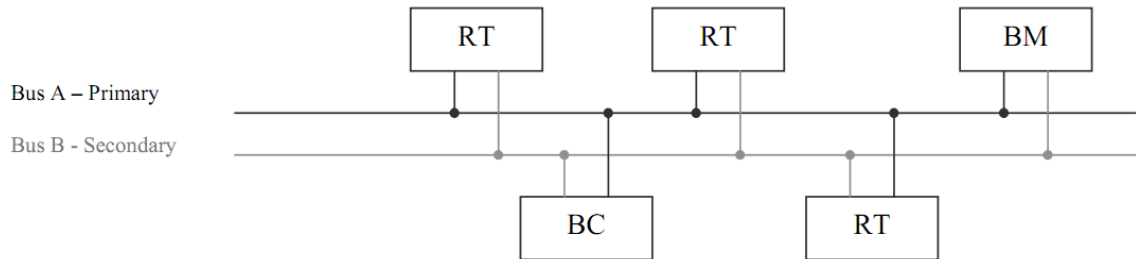
ulkoisten häiriöiden suodatus kuin suorakytkennällä. Tämä kytkentä estää etäterminaalien vikatilanteissa väylän vahingoittumisen, eikä se siinä tapauksessa häiritse väylän toimintaa. (Aim GmbH 2010)

Väylänkaapeloinnissa voidaan käyttää kahta erilaista johdinta. Nämä ovat aivan erilaisia johtoja verrattuna toisiin. Toinen on koaksiaali- kaapelin sukulainen TRIAX. Tämän johdin tyyppien etuna on sen ulkokuoren paksuus, jonka takia se on kestävämpää kuin kierretty parikaapeli. Kaapelissa on kolme eri kerrosta, kun normaalissa koaksiaali-kaapelissa on vain kaksi. Väylän tiedonsiirtoon käytetään kahta sisintä johdinta ja ulommainen suojaverkko on häiriön poistoon. Kaapelissa sisempi johdin on HI (High) ja keskimäinen LO (Low). Tätä TRIAX johdinta käytetään yleensä teollisuudessa, mutta ei ilmailuteollisuudessa. Lentokoneissa pyritään tilan ahtauden vuoksi minimoimaan liittimien määrä. Lentokoneissa joudutaan tekemään läpivientejä paineseinien lävitse joihin ei voi määräänsä enempää tehdä läpivientejä, jottei paineseinän materiaali esimerkiksi alumiini menetä lujuus ominaisuuksiaan. TRIAX liittimen eduksi voidaan luokitella, että nämä ovat aina erillisiä liittimiä erossa muissa johtimista. Liitin ei ole niin altis vikaantumiselle, koska se on niin tiivis paketti.

Toinen mahdollisuus on käyttää suojattua kierrettyä parikaapelia. Tätä yleensä käytetään lentokoneissa, koska se on kooltaan pienempi ja kevyempi. Lentokoneissa ei ole yleensä hirveästi ylimääräistä tilaa monelle liittimelle. Ongelmana on johtoja kytkettäessä MIL-STD-38999-moninapaliittimiin, koska samassa liittimessä on paljon muitakin johtimia kuin väyläjohtoja. Tästä johtuen kierretyn parikaapelin häiriönpoistoverkkoa ei pysty viemään liittimen juureen asti. Väyläkaapeloinnissa häiriösuojauksen pitää olla koko johdotuksen matkalla yhtenäinen. Tästä syystä lentokoneen MIL-STD-38999-moninapaliittimelle pitää rakentaa häiriönpoistoverkko, joka liitetään puristus- tai juotosholkilla parikaapelin häiriönpoistoverkkoon. Näin saadaan jatkuva EMI-häiriönpoisto johdoille ja liittimelle, jolloin väyläjohtimiin induoidu ulkopuolisia häiriötä. Johdin on kierretty pari, jolloin ne suodattavat häiriötä pois toisistaan. Huonona puolena kierretyssä parikaapelissa on sen vaurioitumisherkkyys, jota voi tapahtua johdotusta tehdessä tai kun kyseisen liittimen muita johtimia korjataan/uusitaan. Esimerkiksi asennettaessa näitä johtimia on oltava erityisen huolellinen ettei vaurioita kaapelin ulkokuorta. Jos kaapelin ulkokuoreen tulee vaurio ja ne sidotaan erittäin tiukasti toisiin johtimiin, on mahdollista että ne ottavat toisiinsa kiinni aiheuttaen oikosulun.

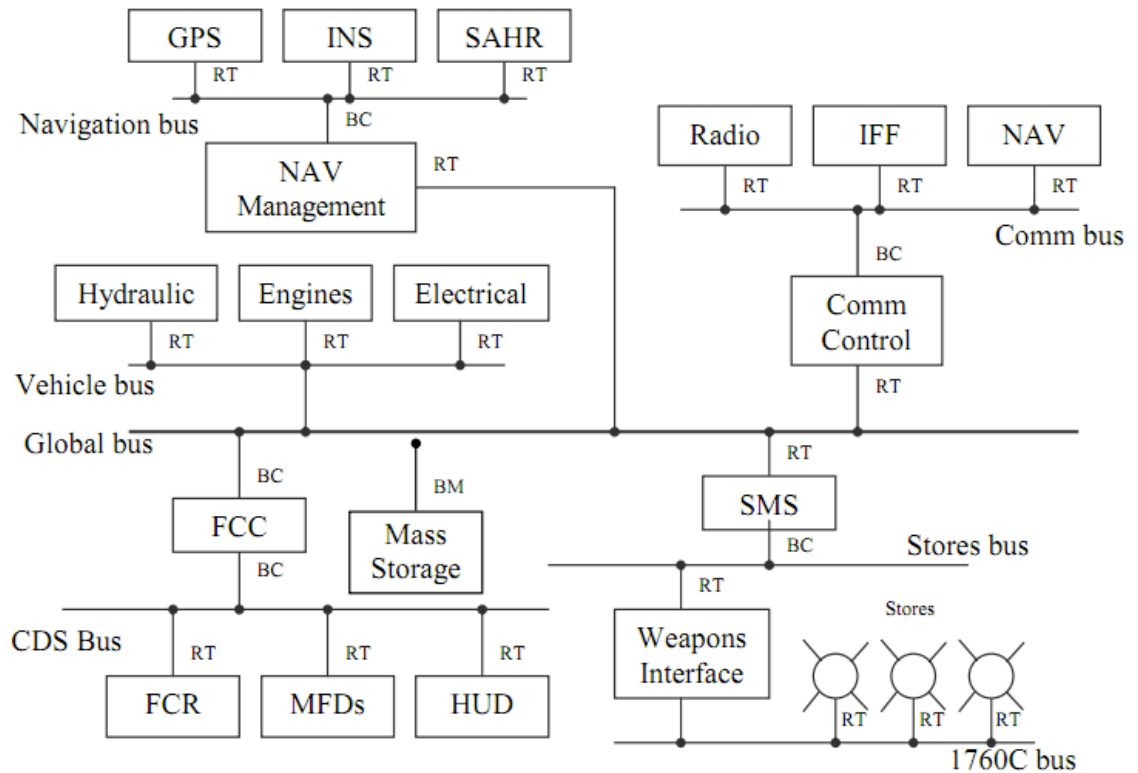
### 3.4 Väylätologia

Väylätologia on laitteiden fyysinen kuvaus siitä missä ne väylällä sijaitsevat. Ensimmäisen tason väylätologia on kaikista yksinkertaisin tapa esittää väylän toiminta (kuva 3.).



KUVA 3. Yksinkertainen väylä topologia (Aim GmbH 2010)

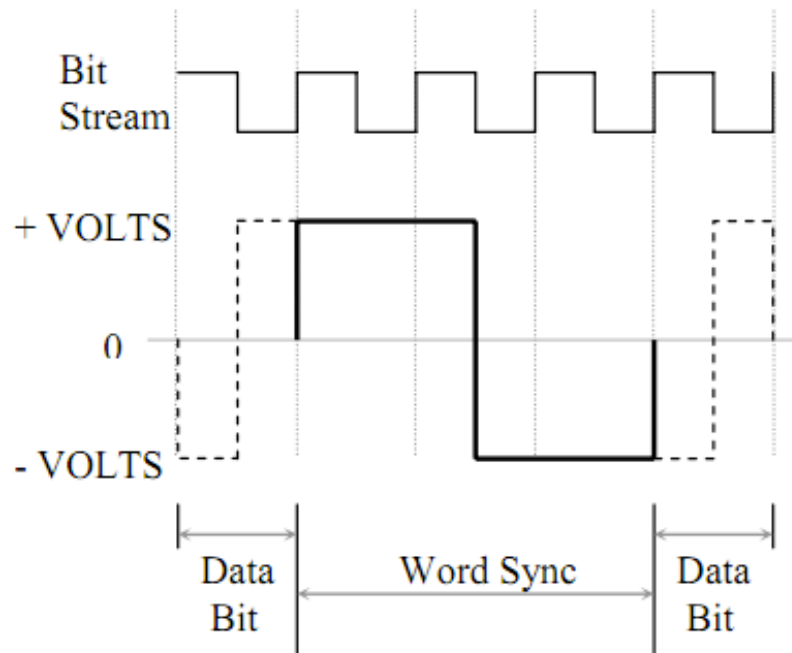
Moniasteiset väylätologian esitystavat kertovat, kuinka eri väylät ovat yhteydessä toisiinsa (kuva 4.). Kuvioista näkee etäterminaalit, joilla yhdistetään eri järjestelmät väylään. Kuvioista näkee myös etäterminaalien alalaitteet, jotka ovat analogisia laitteita. Näiden laitteiden analogiset signaalit etäterminaali muuttaa väylätiedoksi. Väylä toimii master-slave-periaatteella, jolloin väylällä on väyläohjain ja määrää sanoman kulun väylällä. Mutta etäterminaalit voivat lähettää myös tietoansa toiselle etäterminaalille, mutta väyläohjaimen käskyttämänä. (Aim GmbH 2010)



KUVA 4. Moniasteinen MIL-1553 väylätopologia (Aim GmbH 2010)

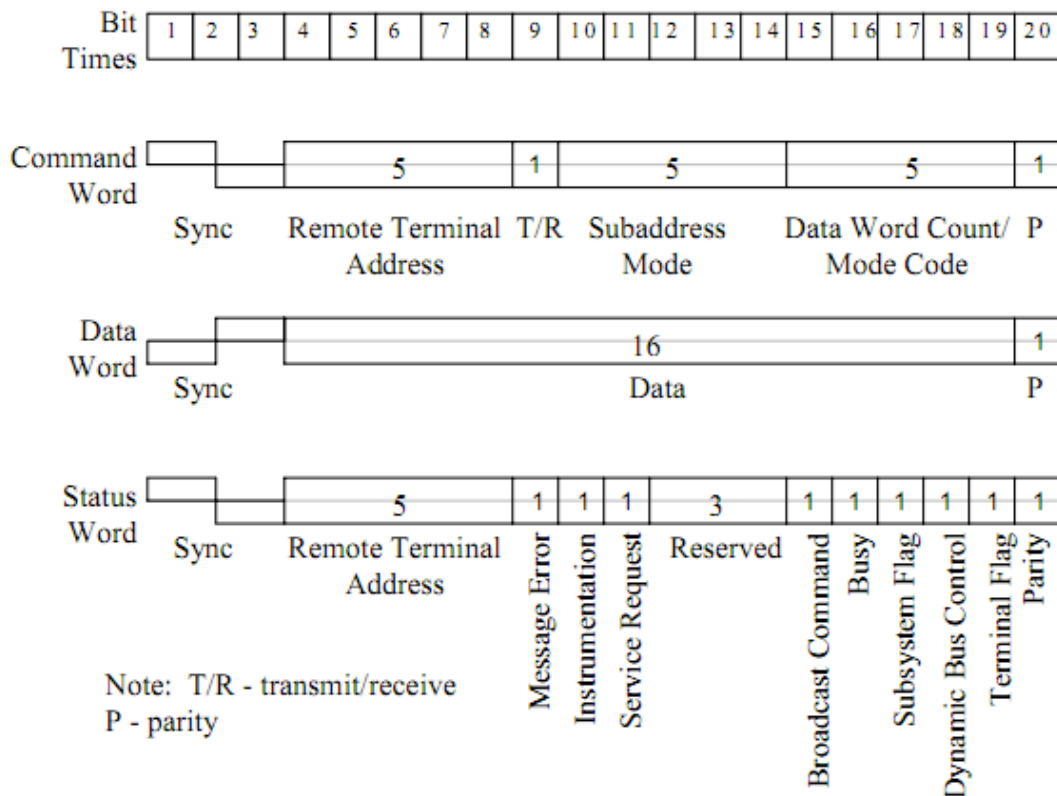
### 3.5 Väyläprotokolla

MIL-STD-1553:ssa käytetään Manchester koodattua signaalia, joka on esitetty kuvassa 5. Manchester koodauksen tarkoituksena on saada kello- ja datasignaalit samaan väylään. MIL-STD-1553-väylä on tästä syystä itsestään synkronoituva, jonka nimellinen kellotaajuus on 1 MHz. Väylän tiedonsiirtonopeus on 1 Mb/s ja pitkän ajan vaihteluväli 0,1 %, jonka takia kello taajuuden ei tarvitse olla erityisen tarkka. Manchester koodauksen mukaisesti jokainen bitti vastaa yhtä signaalin polariteetin muutosta. Looginen ykkönen tarkoittaa signaalin siirtymistä positiivisesta negatiiviseen ja nolllalla päinvastoin. 1MHz kellotaajuudella yhden bitin ajaksi tulee  $1\mu\text{s}$ . Väylän signaalien jännitetasoilla ei ole merkitystä, vaan ainoastaan nolllapisteen ylityksillä. (Aim GmbH 2010; Alkkiomäki 2009)



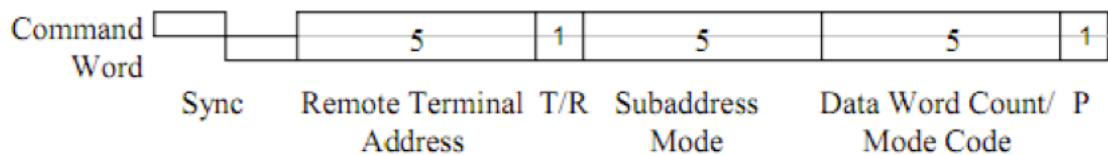
KUVA 5. Manchester koodattu signaali. (Aim GmbH 2010)

Standardin määrittelee kolme erilaista sanaa, jotka on esitetty kuvassa 6, joista väylän viestit muodostuvat. Protokollan mukaiset sanat ovat: komentosana (command word), datasana (data word) ja tilasana (status word). Sanan pituus on 16 bittiä, mutta siihen kuuluu lisäksi kolme bittiä synkronointia ja yksi pariteettitarkistusta varten. Pariteettibitti on esitetty kuvassa 6, jokaisen sanan viimeisenä bittinä. Tietoa voidaan siirtää väylällä käytännössä 16 bitin verran kerralla. Kaikki kolme sana alkavat kolmella synkronointi bitillä. Synkronointikoodin avulla vastaanotin tahdistaa itsensä vastaanottoa varten. Näissä komento- ja tilasana alkavat samanlaisella synkronoinnilla ja datasan synkronointi on käänteinen näihin verrattuna. Komento- ja tila sanan voi lähettää vain väyläohjain, jonka takia näitä kahta sanaa ei ole eroteltu toisistaan ja tilasan pystyy lähettämään ainoastaan etäterminaali. (Aim GmbH 2010)



Kuva 6. Väyläsanomat. (Aim GmbH 2010)

### 3.5.1 Komentosana



Kuva 7. Komentosana (Aim GmbH 2010)

Komentosanan väyläohjain lähettää etäterminalle ohjeistaakseen ne vastaanottamaan/lähtettämään dataa tai tekemään jonkun muun toiminnon. Ensimmäiset kolme bittiä ovat sanan synkronointia varten. Näiden jälkeiset viisi bittiä ovat etäterminalin väyläosoitetta. Jokaisella etäterminalilla on oma osoitteensa, viidellä bitillä saadaan  $2^5$  erilaista osoitetta 0-31 etäterminalille joista viimeinen 32 (11111) osoite on yleislähetykseen. Etäterminalin osoitteen jälkeen on bitti, joka ilmoittaa on kyseessä lähetys vai vastaanotto T/R. T/R bitti kertoo lähetyksen suunnan, onko se vastaanotto- vai lähetyk-

sana. Jos kyseinen bitti on asetettu 0:ksi se käskyttää etäterminaalin vastaanottotilaan ja loogisesti 1 käskyttää lähettämään.

Seuraavat viisi bittiä (subaddress/mode) määrittävät alasoitteen tai käyttötilan ohjauksen. Tämä kertoo mitä etäterminaalin on tarkoitus tehdä vastaanotetulla datalla tai määrittellä miten etäterminaalin data lähetetään väylälle. Käyttötilan ohjaus (mode command) viestit lähetetään erityisesti etäterminaaleille, jolla saadaan tarkistettu niiden tila ohjatakseen niitä tai ohjattua väyläviestiä. Seuraavat viisi bittiä on myös kaksoistoiminen viestikenttä (data word count/mode code), joka kertoo lähetettävän datasanojen määrän tai vaihtoehtoisesti moodikoodin. Tavallisia moodikomentoviestejä on kolme erilaista: pelkkä moodikomento, moodikomento etäterminaalille lähetettävällä datasanalla ja moodikomento väyläohjaimelle lähetettävällä datasanalla. (Aim GmbH 2010; MIL-HBDK-1553A 1988)

Viimeinen bitti on pariteettibitti, joka on sanoman tarkistusta varten. Pariteetin muodostus perustuu siihen, että jokaiseen sanaan lisätään ylimääräinen bitti (pariteettibitti). Pariteettibitin arvo laitetaan lähetyspäässä joko ykköseksi tai nollaksi siten, että saadaan kaikkiin sanoihin sama pariteetti (pariton tai parillinen pariteetti). Vastaanottopäässä tarkastetaan kunkin sanan pariteetti. Virheellisen viestilähetyksen voidaan todeta tapahtuneen, jos löydetään pariteetilta poikkeava sana. (Aim GmbH 2010; MIL-HBDK-1553A 1988)

### 3.5.2 Datasana

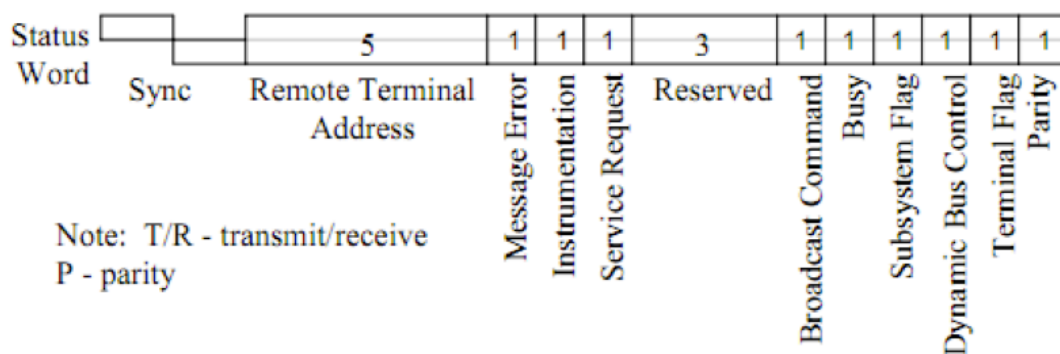


KUVA 8. Datasana (Aim GmbH 2010)

Datasana sisältää varsinaisen sanoman ja sen voi lähettää väyläohjain tai etäterminaali. Etäterminaali halutessaan voi lähettää datasanan, mutta sen pitää olla väyläohjaimen käskyttämänä. Datasanan voi lähettää myös etäterminaalista toiseen. Datasana alkaa kolmella synkronointi bitillä, mutta synkronointi on käänteinen verrattuna komentosanan synkronointiin. Synkronointikoodin jälkeiset 16 bittiä on vapaasti määriteltävää

hyötydataa, jonka merkitsevin bitti on ensimmäisenä. Datasanan viimeinen bitti on pariteettibitti sanan tarkastusta varten. (Aim GmbH 2010)

### 3.5.3 Tilasana



KUVA 9. Tilasana. (Aim GmbH 2010)

Tilasanan tarkoituksena on varmistaa, että kommunikaatio on onnistunut väyläohjaimen ja etäterminaalin välillä. Tilasanan lähettää vain ja ainoastaan etäterminaali väyläohjaimen pyynnöstä ellei kyseessä ole yleisviesti, jolloin kaikki väylällä olevat etäterminaalit ovat viestin vastaanottajia. Jos väyläohjain ei saa pyyntöönsä vastauksena tilasanaa, se tyypillisesti yrittää uudestaan toisella kanavalla. Tilasana alkaa kolmella synkronointi bitillä, jonka tulee olla samanlainen kuin edeltävässä komentosanassa. Synkronoinnin jälkeen tulee etäterminaalin osoite, jotta väyläohjain tietää mistä viesti on tulossa. Mikäli kommunikaatiossa tapahtuu virhe, asettaa etäterminaali seuraavan viestivirhebitin (message error) aktiiviseksi. Muut tilasanan bitit ovat: instrumentointi, palveluspyyntö, yleislähetys, odotustila, alajärjestelmä, dynaaminen väyläohjaus ja terminaali bitti. Ennen viimeistä pariteettibittiä, joka on pariteettitarkastusta varten, on terminaalibitti. Etäterminaali asettaa terminaalibitin aktiiviseksi silloin kun laite on vikaantunut. (Aim GmbH 2010; MIL-HBDK-1553A 1988)

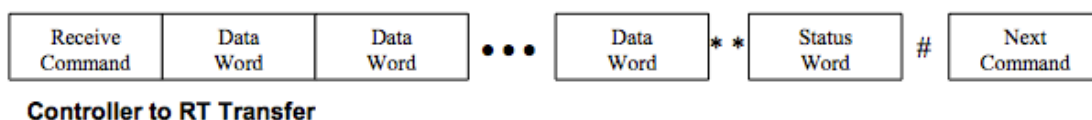
### 3.6 Tiedonsiirto väylällä

MIL-STD-1553-standardi mahdollistaa 10 erilaista viestiä mitä voidaan lähettää väylällä, joista neljä on yleislähetysiksiin. Jokainen viesti koostuu kontrollisanoista (command

ja status) ja datasanoista, jotka ovat väyläohjaimen käskyttämiä. Normaali käsky/vastaus viesti alkaa aina väyläohjaimen komentosanalla, joka lähetetään valitun etäterminaalin osoitteeseen. Etäterminaali vastaanottaa tai lähettää viestin riippuen siitä mikä on väyläohjaimen komento. Etäterminaali lähettää tilasanaviestin takaisin, jos lähetys oli oikea ja vastaanotettu ilman mitään virhettä. Väyläohjain voi käskyttää etäterminaalin lähettämään tietoa toiselle etäterminaalille. Väyläohjain käskyttää toisen lähettämään ja toisen vastaanottamaan. Moodikomentoja käytetään etäterminaalien ohjaukseen ja tilatarkastuksiin. Moodikomento voi koostua myös datasanasta, jonka etäterminaalit lähettävät toisilleen. Yleislähetykset väyläohjain lähettää usealle etäterminaalille yhtä aikaa. Etäterminaali erottaa yleislähetysviestin muista komentoviesteistä, kun etäterminaalin osoitteena komento sanassa on 11111 (31). (MIL-HBDK-1553A 1988)

### 3.6.1 Tiedonsiirto väyläohjaimelta etäterminaalille (BCRT-viesti)

BCRT -viesti on yleisin mitä väylällä liikkuu. Siinä väyläohjain lähettää viestin etäterminaalille, joka alkaa komentosanalla ja siinä on asetettu T/R (Transmit/Receive) bitti loogiseksi 0. Tämä käskyttää etäterminaalin asettumaan vastaanottotilaan. Data word count/Mode code kenttä kertoo etäterminaalille vastaanotettavan datan määrän, joka tulee komentosanan jälkeen. Aikaeroa näillä viesteillä ei ole ollenkaan eikä datasanoilla, kuten kuvassa 10 esitetty. MIL-STD-1553-standardin mukaan etäterminaaliin kuuluvan alajärjestelmän tulee prosessoida vastaanotettudata enintään 56  $\mu$ s:n aikana, jotta se olisi valmis vastaan ottamaan seuraavan viestin väyläohjaimelta. Väyläohjain lähettää etäterminaalille 1-32 datasanaa. Etäterminaali tarkistaa tulevan viestin, että onko se käypä ja oikeanlainen. Jos se on vastaa etäterminaali tilasanalla takaisin, että viesti on vastaan otettu. (Aim GmbH 2010; MIL-HBDK-1553A 1988)



**Note:**

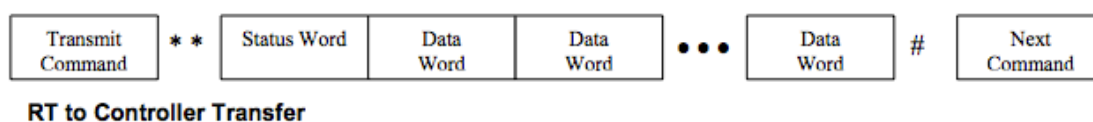
- # Intermessage Gap
- \*\* Response Time

KUVA. 10 BCRT-viesti. (Aim GmbH 2010)



### 3.6.2 Tiedonsiirto etäterminaalilta väyläohjaimelle (RTBC–viesti)

RTBC- viestissä väyläohjain pyytää etäterminaalia komentosanalla lähettämään 1-32 datasanan verran tietoa takaisin. Kommentoviestissä T/R bitti on looginen 1, joka käskyttaa etäterminaalia lähettämään dataviestin. Väyläohjaimen haluaman datan määrä selviää komentosanassa olevasta data word count/mode code kentästä. Etäterminaalin alajärjestelmän tulee siirtää haluttu data etäterminaalin lähetettäväksi 12  $\mu$ s :n sisällä komentosan vastaanottamisesta tai tiedonsiirto hylätään. Jos alajärjestelmä ei pysty tätä tekemään lähettää etäterminaali tilasanan, joka kertoo toimintavirheestä. RTBC–viesti on esitetty kuvassa 11. (Aim GmbH 2010, MIL-HBDK-1553A 1988)



**Note:**

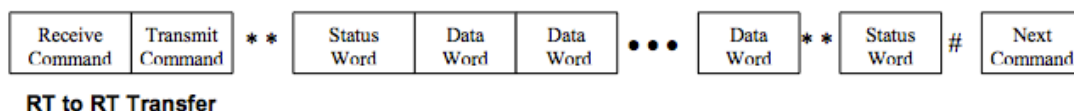
- # Intermesssage Gap
- \*\* Response Time

KUVA 11. RTBC–viesti. (Aim GmbH 2010)

### 3.6.3 Tiedonsiirto etäterminaalilta toiselle (RTRT–viesti)

RTRT- viestissä keskusteluun osallistuu muista viesteistä poiketen kolme aktiivilaitetta: väyläohjain ja kaksi etäterminaalia. RTRT–viestillä voidaan siirtää tieto suoraan etäterminaalilta toiselle, ilman että tieto välitettäisiin väyläohjaimen kautta. RTRT –viesti siis korvaa peräkkäiset BCRT- ja RTBC –viestit. Tämä viesti alkaa väyläohjaimen käskytämänä. Ensiksi väyläohjain lähettää vastaanottavalle etäterminaalille komentosan, jossa T/R bitti on asetettu 0 ja data word count/mode code kentässä on vastaanotettavien sanojen määrä. Tämän jälkeen ilman mitään aikaväliä väyläohjain lähettää lähettävälle etäterminaalille komentosan, jossa T/R bitti on asetettu 1 ja data word count/mode code kentässä on lähetettävien sanojen määrä (Kuva 12). Kommentosanoissa tulee olla osoitekentässä lähettävän/vastaanottavan etäterminaalin osoite. Data word count/mode code kentässä molempien sanojen tulee olla sama, jotta tiedonsiirto onnistuu.

Komentosanojen jälkeen vastaanottava etäterminaali jää odottamaan datasanaa, mutta se vastaanottaakin lähettävän etäterminaalin RTBC –viestin tilasanan, jonka se hylkää. Tämä siksi koska lähettävä etäterminaali reagoi väyläohjaimen komentosanaan RTBC–viestin tavoin ja lisäksi vastaanottaa halutut datasanat. Nämä datasanat etäterminaali vastaanottaa heti tilasanan hylkäämisen jälkeen. Jos vastaanotto onnistuu vastaanottava etäterminaali vastaa väyläohjaimelle onnistuneesta siirrosta tilasanalla. (Aim GmbH 2010; Alkkiomäki 2009; MIL-HBDBK-1553A 1988)



**Note:**

- # Intermessage Gap
- \*\* Response Time

KUVA 12. RTRT–viesti. (Aim GmbH 2010)

### 3.6.4 Moodikomentoviestit (MCC–viestit)

MIL-STD-1553-väylällä on mahdollista lähettää myös yksinkertaisia käskyjä eli moodikomentoja. Väyläliikenne on pääsääntöisesti aktiivilaitteiden välistä keskustelua, mutta jossain tapauksissa voi olla tarpeellista lähettää moodikomentoviesti. Tavallisia moodikomentoviestejä on kolme erilaista: Pelkkä moodikomento, moodikomento etäterminaalille datasanalla ja moodikomento väyläohjaimelle lähetettävällä datasanalla, nämä komennot on esitetty kuvassa 13. Moodikomentoja käytetään vain kommunikointiin useiden väylälaitteiden kanssa, eikä datan lähettämiseen tai keräämiseen alajärjestelmän laitteilta. Standardin B-versio määrittelee 15 erilaista moodikomentoa, joiden toteutus väylälaitteissa on vapaaehtoista. Moodikomennot on varattu erityisiin toimintoihin jotka on eritelty taulukossa 3. Taulukosta selviää moodikentänkoodi ja toiminto mitä se kyseinen koodi tekee. (MIL-HBDBK-1553A 1988)

TAULUKKO 3. Moodikomennot (MIL-HBDK-1553A 1988)

T/R Bit	Mode Code	Function	Associated Data Word	Broadcast Command Allowed
1	00000	Dynamic Bus Control	N	N
1	00001	Synchronize	N	Y
1	00010	Transmit Status Word	N	N
1	00011	Initiate Self Test	N	Y
1	00100	Transmitter Shutdown	N	Y
1	00101	Override Transmitter	N	Y
1	00110	Inhibit Terminal Flag Bit	N	Y
1	00111	Override Inhibit Terminal Flag Bit	N	Y
1	01000	Reset RT	N	Y
1	01001	Reserved	N	TBD
1	01111	Reserved	N	TBD
1	10000	Transmit Vector Word	Y	N
0	10001	Synchronize	Y	Y
1	10010	Transmit Last Command	Y	N
1	10011	Transmit BIT Word	Y	N
0	10100	Selected Transmitter	Y	Y
0	10101	Override Selected Transmitter	Y	Y
1 or 0	10110	Reserved	Y	TBD
1 or 0	11111	Reserved	Y	TBD

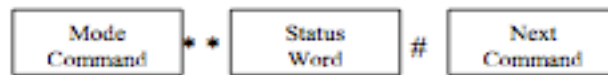
Moodikomentoviestin väyläohjain lähettää etäterminaalille ohjataksen sen toimintaa, tarkastettaessa laitteen tilaa tai hallinnoidakseen väylän toimintaa. Väyläohjaimen komentosan subaddress/mode kentän osoite täytyy olla asetettuna 0 (00000) tai 31 (00000). Tällä osoitteella word count/mode code kenttä sisältää tehtävän moodikoodin, joka pitää toteuttaa. Moodikoodin voi lähettää ilman että pyytää etäterminaaliala lähettämään tai vastaanottamaan. Tai vaihtoehtoisesti sen voi lähettää ilman dataa. (Aim GmbH 2010, Alkkiomäki 2009, MIL-HBDK-1553A 1988)

- Moodikomento

- o Tämä on väyläohjaimen lähettämä käsky, joka ei sisällä ollenkaan dataa. Komentosana on pelkästään T/R bitti asetettuna 1, joka käskyttää etäterminaalin lähettämään. Etäterminaaliala tarkistaa että sana on oikea ja vastaa takaisin väyläohjaimelle tilasanalla. Moodikomento ilman dataa sisäl-

tää ainoastaan kaksi sanaa: komentosana väyläohjaimelta ja tilasana etäterminaalilta.

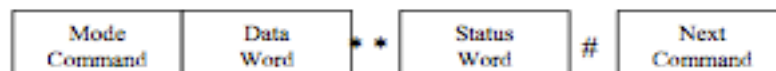
- Moodikomento datasanalla -lähetys
  - o Moodikomennot vaatii etäterminaalilta datavastauksen tilasan kanssa. Komentoviestissä T/R bitti on asetettu loogiseksi 1, joka käskyttää etäterminaalin lähettämään. Riippuen siitä mitä väyläohjain on asettanut data word count/mode code kenttään, etäterminaali vastaa yhdellä datasanalla ja tilasanalla.
  
- Moodikomento datasanalla -vastaanotto
  - o Tämä moodikomento vaatii etäterminaalia vastaanottamaan yhden datasan. Tässä komentosanan T/R bitti on asetettu 0, jotta etäterminaali tietää mennä vastaanotto tilaan. Komentosana kertoo että lähettää vain yhden datasan. Tämän jälkeen etäterminaali vastaan ottaa yhden datasan, jonka jälkeen etäterminaali vastaa lähettämällä tilasan kuitaamaan että viesti on ymmärretty.



**Mode Command without Data Word**



**Mode Command with Data Word (Transmit)**



**Mode Command with Data Word (Receive)**

KUVA 13. Yleiset moodikomennot. (Aim GmbH 2010)

### 3.6.5 Yleislähetysviestit

Nämä viestit väyläohjain lähettää yksilöimättä vastaanottajaa. yleislähetysviesteissä etäterminaalin osoitteena on 1111. Tämä tarkoittaa että viesti lähetään kaikille etäterminaaleille ja osoitteen perusteella etäterminaalit tietävät olla vastaamatta viestiin. Etäterminaali asettaa yleislähetys bitin 1 tilasanaan, mutta se ei lähetä tilasanaa takaisin väyläohjaimelle. Tämä viestimahdollisuus rikkoo MIL-STD-1553:n kysely-vastaus-toimintaperiaatetta. Tällä viestillä väyläohjain voi lähettää tietoja ja komentoja etäterminaaleille. Näiden viestien ongelmana on ettei vastausviestiä saada, joten ei voi tietää onko viesti mennyt perille. Lähetys tapahtuu BCRT- ja RTRT-viesti logiikalla ja näiden viestityyppien lisäksi se on mahdollista kahdelle moodikomentoviestityypille. MIL-STD-1553-toteutuksissa yleislähetysviestejä käsitellään erillisinä viestityyppeinä, jolloin ne voidaan tarvittaessa estää. Yhdysvaltain ilmavoimien käyttöön tarkoitettussa MIL-STD-1553-notice 1,2 ja 4 dokumentissa sallitaan ainoastaan yleislähetysten kahdelle moodikomentoviestille. (MIL-HBDK-1553A 1988)

- Moodikomento datasanalla BCRT(s) -viesti. (yleislähetys)
  - o Viesti toimii samalla lailla kuin kappaleessa 2.6.2 oleva moodikomento ilman datasanaa. Ainoana erona on se ettei etäterminaali lähetä tilasanaa takaisin väyläohjaimelle. Etäterminaali ainoastaan asettaa omaan tilasanaan yleislähetysten bitin 1:ksi. Väyläohjain voi halutessaan kysyä etäterminaalilta viestin perille menosta. Tässä tapauksessa etäterminaali vastaa tilasanalla.
  
- Moodikomento datasanalla RTRT(s)- viesti (yleislähetys)
  - o Tämä viesti alkaa samalla tavalla kuin RTRT-viesti, kuin kappaleessa 2.6.3, mutta lopussa ei lähetetä tilasanaa väyläohjaimelle. Väyläohjain käskyttää jonkun väylällä olevista etäterminaaleista välittämään viestin muille etäterminaaleille.

## 4 REAALIAIKAINEN VÄYLÄLIIKENTEN SEURAIN, BUS MONITOR

### 4.1 Tarvittavat ominaisuudet

Väylämonitorin tärkein ominaisuus on olla aiheuttamatta häiriötä väyläliikenteelle. Väylämonitorin pitää olla aktiivilaite väylällä, jotta väylältä saadaan reaaliaikaista tietoa tallennettua tietokoneelle missä sitä voidaan analysoida jälkeinpäin. Lennonaikana väylällä tapahtuu paljon liikennettä, mitä ei välttämättä saada simuloitua maatesteissä. Tämän takia lentokoneissa käytetään paljon erilaisia väylätallentimia, jotka nauhoittavat väyläliikennettä. Näin saadaan lennolta otettua talteen kaikki tarpeellinen tieto. Näitä varten on olemassa erilaisia järjestelmiä, mutta yksinkertaisuudessaan se saadaan tehtyä väylämonitorilla/-tallentimella. Väylämonitori tallettaa myös virheviestit, jos sellaisia tulee. Niitä voi analysoida lennonjälkeen tallenteesta ja tarkastella yleisesti väylän toimintaa. Onko väyläohjaimen prosessoriteho liian pieni, onko väylällä liikaa liikennettä, tuleeko viesteille yhteentörmäyksiä, ovatko etäterminaalien osoitteet pielessä tai alalaitteen osoite väärä. Väylämonitorilla on tarkoitus pystyä selvittämään nämä kaikki ja lisäksi seuraamaan minkälaista dataa ja missä vaiheessa data väylällä liikkuu.

Vianetsinnässä reaaliaikaisesta väylämonitorista on paljon hyötyä, koska nykyään enemmän ja enemmän tieto liikkuu väylällä. Koska jos jokaisen tiedon veisi laitteelta toiselle yksittäisellä johtimella, kasvaisi lentokoneen massa liian suureksi. Yleismittarilla väylätietoa ei pysty mittaamaan, koska sillä pystyy ainoastaan toteamaan onko laitteiden välinen johdotus kunnossa. Väylämonitorilla pystyisi selvittämään esimerkiksi: ohjaamosta lähetetään käsky jollekin laitteelle, että saapuuko käsky perille. Esimerkiksi ohjaussauvan ident nappia painettaessa tieto ei välity testilaitteeseen, jolla koneen ulkopuolella mitataan ident signaalia. Vika voi olla ohjaussauvan napissa, johdotuksessa tai transponder lähettimessä. Ilman väylämonitoria ensiksi mitattaisiin laitteiden välinen johdotus. Jos johdotus on kunnossa vian aiheuttajaksi jää kaksi vaihtoehtoa: ohjaussauva tai transponder lähetin. Ilman väylämonitoria ei voi kuin vaihtaa toinen kyseisistä laitteista. Tässä tapauksessa on 50% todennäköisyys että viallinen laite vaihdetaan ensiksi. Tämä saattaa aiheuttaa turhia laiteirrotuksia lentokoneesta, joka aiheuttaa lisää kustannuksia aikataulun venymisen vuoksi. Väylämonitorilla pystyisi selvittämään viallisenlaitteen irrottamatta mitään lentokoneesta. Väylämonitorilla pystyy tarkastamaan

saako väyläohjain ohjaussauvan etäterminaalilta ident tiedon ja vastaanottaako transponder lähettimen etäterminaali kyseisen käskyn.

Ongelmatapauksiin törmätään jatkuvasti Hornetin huoltojen yhteydessä, kun konetta testataan huollon jälkeen. Koneessa voi olla myös vikailmoituksia auki koneen tullessa huoltoon, joita on seurattu useamman lennon ajan. Vikailmoituksiin on kirjattuna kuinka ne käyttäytyvät ja on yleensä tehty paljon turhia laitevaihtoja, jotka eivät ole poistaneet vikaa. Nämä viat on yleensä, että joku laite on mennyt DEGD (Degradet, epäkunnossa) tilaan ja antanut MSP-koodin. MSP- koodi on Hornet koneen järjestelmienvika-koodi. Väyläohjain asettaa MSP- koodin, jos se ei saa vastausviestiä etäterminaalilta. MC eli mission computer on Hornetin väyläohjain, joka aktivoi kyseisen MSP- koodin ja asettaa laitteen/järjestelmän tilaksi DEGD (Degradet, epäkunnossa). Tämä tieto välittyy lentokoneenohjaajalle koneen näytölle. BIT-testaus (Built in test) toiminto tarkastaa halutun laitteen tilan. Jokaiseen laitteeseen on määritelty oma itsetestaus BIT, jonka laite tekee kun ohjaaja/mekaanikko valitsee sen ohjaamon näytöltä. Tällöin MC lähettää käskyn etäterminaalille, joka komentaa etäterminaalin tekemään testin sen alajärjestelmän laitteelle tai sille itselleen. Testin tuloksesta riippuen etäterminaali lähettää väyläohjaimelle viestin, jossa kerrotaan oliko testi PASS/FAIL. Tämän perusteella väyläohjain asettaa laitteen tilaksi GO tai DEGD (Degradet, epäkunnossa). Jos tilaksi tulee DEGD (Degradet, epäkunnossa) väyläohjain asettaa myös asiasta kertovan MSP-koodin aktiiviseksi.

Laitteille on määritetty Hornetissa erilaisia tiloja, joissa laite voi olla. Nämä tilat kerrotaan ohjaajalle ohjaamon näytöllä, joista ohjaaja tietää mitkä laitteet ovat toiminnassa. Alla on listattuna eri tilat missä laite voi olla. Tiloja on erilaisia missä laite voi kuitenkin toimia osittain tai sitten on kokonaan poissa pelistä.

Näitä tiloja ovat:

- PBIT GO
- GO
- OP GO
- DEGD
- OVRHT
- RESTR

PBIT GO: laite on täysin toiminnassa käynnistyksen jälkeen, mutta laitteelle ei ole tehty itse testausta.

GO: laite on kunnossa ja sille on ajettu itse testaus.

OP GO: Laite on toiminnassa, mutta jonkin kyseisen järjestelmän toiminto tai laite ei toimi oikein.

DEGD: Laite/järjestelmä on rikki. Joten sitä ei pysty käyttämään ellei siinä ole mekaanista varatoimintoa.

OVRHT: Laite käy ylikuumana.

RESTR: Laite ei käynnistynyt oikein, joten se pitää käynnistää uudelleen.

Huollossa ei välttämättä pysty selvittämään miksi laite on jossain yllä mainituissa tilassa suoraan. Väylämonitorilla olisi tarkoitus päästä analysoimaan väylälle suoraan mitä siellä kyseinen laite tekee. Vastaako se väyläohjaimen viesteihin ja tuleeeko vastausviesti myöhässä, jolloin väyläohjain tulkitsee sen vialliseksi. Nämä ovat todella tärkeitä tietoja millä vältytään turhilta laitevaihdoilta. Kaikki ylimääräinen työ viivästyttää koneenläpimenoaikaa, joka aiheuttaa lisää kustannuksia ja kone on poissa käytöstä asiakkaalta.

## 4.2 Toiminnot vianhaussa

Väylämonitorilla olisi tarkoitus pystyä reaaliajassa tarkastamaan/seuraamaan väylän viestiliikennettä reaaliajassa. Välttämättä ei ole mahdollista/tarpeellista päästä näkemään viestin lähetystä ja vastaanottoa, mutta tallenteesta näkemään mitä väylällä on tapahtunut. Huollossa pystyy helpommin rajaamaan tarkasteltavan ajan hetken väyläliikenteessä mitä halutaan tarkastella. Väylämonitorin ohjelmassa olisi tärkeää pystyä tarkastelemaan yksittäisiä sanomia, jotta pääsee helposti käsiksi tiettyyn laitteeseen. Hornetissa on käytössä väyläliikenteeseen tarkoitettut referenssikoodit, joka tarkoittaa että jokaisella viestillä, käskyllä ja tiedolla on oma koodinsa (kuva 14). Näillä koodeilla pystytään huollossa tarkastamaan esimerkiksi laskusiivekkeen asentotiedon koneen ohjaimesta. Tämä tieto ilmoitetaan oktaaleina koneen näytöllä, joka muutetaan laskemalla binäärimuodoksi ja sijoitetaan ohjekirjassa olevaan taulukkoon (kuva 15). Taulukon tiedoilla lukema saadaan muutettua astetiedoksi. Tämä on työlästä ja ohjaamon näytöiltä pystyy seuraamaan vain yhtä sanomaan kerrallaan. Väylämonitorilla olisi tarkoitus pystyä seuraamaan useampaa viestiä yhtä aikaan, joka on jossain tapauksissa vianetsinnässä tarpeellista.



Ref Code	Nomenclature	Access Code	No Bits	LSB Pos	MSB Value	Units	Range/Remarks	R
IAISPR	INDICATED STATIC PRESSURE	28(07023265) 29(07005607)	16	0	64	IN HG		
IAISPV	IND STATIC PRESS VALID	28(07023261) 29(07005603)	1	12	NA	NA		
IAITP1	INDICATED TOTAL PRESSURE	28(07023316) 29(07005640)	16	0	128	IN HG	MOST SIGNIFICANT PART OF IND. TOTAL PRESS. LEAST SIGNIFICANT PART OF IND. TOTAL PRESS.	
IAITP2	IND. TOTAL PRESS. (LSP)	28(07023317) 29(07005641)	8	8	0,00195	IN HG		
IALAAD	LOCAL AOA (DISPLAY)	28(07023274) 29(07005616)	16	0	90	BAMS		
IALAAV	LOCAL AOA VALID	28(07023261) 29(07005603)	1	10	NA	NA		
IALAOA	LOCAL ANGLE OF ATTACK	28(07023267) 29(07005611)	16	0	90	BAMS		
IALASS	LOCAL SIDESLIP	28(07023312) 29(07005634)	16	0	45	BAMS		
IALLAA	LEFT LOCAL AOA	28(07023311) 29(07005633)	16	0	90	BAMS		
IALLAV	LEFT LOCAL AOA VALID	28(07023260) 29(07005602)	1	11	NA	NA		
IALSSV	LOCAL SIDESLIP VALID	28(07023260) 29(07005602)	1	10	NA	NA		
IAMACH	MACH NUMBER	28(07023271) 29(07005613)	16	0	4	MACH		
IAMHDG	ADC MAGNETIC HEADING	28(07023303) 29(07005625)	16	0	180	BAMS		
IAMHDV	MAG. HEADING VALID	28(07023261) 29(07005603)	1	0	NA	NA		
IAMHM1	HEADING 1 MODE	28(07023320)	1	14	NA	NA		
IAMHM2	HEADING 2 MODE	28(07023320)	1	13	NA	NA		
IAMLV	LONGITUDINAL FIELD VECTOR	28(07023321)	16	0	32768	NON		
IAMNOV	MACH NUMBER VALID	28(07023261) 29(07005603)	1	8	NA	NA		
IAMNTL	MACH NUMBER TOO LARGE	28(07023304) 29(07005626)	1	9	NA	NA	G.T. -912. APPROXIMATELY G.T. 0.95. 2 WIRE / 2 LVL.	
IAMRDY	ADC MUX READY	28(00022050)	1	1	NA	NA		

Kuva 14. Väyläosoite taulukko. (Hornet ohjekirjallisuus)

Table 26. MSB Value  $\pm 90$ 

UNIT ADDRESS:	REF CODE:								ACCESS CODE:							
OCTAL DATA READOUT																
BINARY BIT FORMAT	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
BINARY WORD																
Scaling shown is for MSB value position of bit 15. If memory inspect table establishes a different MSB position, shift MSB value to that bit to determine the decimal range of reference code. The sign of the MSB value is defined in the memory inspect table. Algebraically add the decimal value for each binary 1 in any position.																
	<u>BIT</u>	<u>SIGN</u>	<u>VALUE</u>													
LSB	0	+	0.002746													
	1	+	0.005493													
	2	+	0.010986													
	3	+	0.021972													
	4	+	0.043945													
	5	+	0.087890													
	6	+	0.175781													
	7	+	0.351562													
	8	+	0.703125													
	9	+	1.40625													
	10	+	2.8125													
	11	+	5.625													
	12	+	11.25													
	13	+	22.5													
	14	+	45													
	15	±	90													
MSB	<hr/>															
	DECIMAL VALUE =															

Kuva 15. Binääri- ja astemuuntotaulukko. (Hornet ohjekirjallisuus)

Väyläsanoman hakutoiminto on tarpeellinen, jos dataa analysoidaan jälkikäteen. Sanoman etsimen kävisi nopeammin. Väylämonitorilla tulisi pystyä seuraamaan useampaa väylää yhtä aikaa. Hornetissa on yhteensä seitsemän väylää joissa kaikki koneen väylälaitteet ovat sijoitettuna. Laitteet on sijoiteltu eri väylille turvatakseen järjestelmien toimivuuden ja koneen toimintakyvyn. Yhden väylän katkeaminen jostain syystä ei viikaannuta koko järjestelmää, jos yksi väylä ei toimi. Tämä on lentoturvallisuutta parantava asia, koska lentämiseen tarvittavat järjestelmät on kahdennettu. Hornetissa on viisi eri avioniikka väylää, yksi EW (Electronic Ware) –väylä ja aseväylä. Aseväylä tulee muuttumaan tulevaisuudessa uusien päivitysten myötä MIL-STD-1760-väyläksi, joka on toiminnaltaan sama kuin MIL-STD-1553. Ainoana erona MIL-STD-1760-väylän eduksi on, että väylässä voidaan viedä väylätietona kuvaa ja videota.

Hornetissa kaikki väyläsanomat ovat Access tietokannasta saatavilla mikä mahdollistaisi tämän hyödyntämisen väylämonitoria käytettäessä. Ohjelmiston ei tarvitsisi tukea Access tietokantaa, mutta kannettavalle tietokoneelle tulee asentaa Access ohjelmisto referenssi- koodeja varten. Ongelmana tulee varmasti olemaan tietokannan saatavuus ja sen päivittäminen, koska Hornetin ohjekirjallisuus ei ole digitaalisessa muodossa päivitysvalvonnassa. Tämä voi aiheuttaa ongelman, jos ohjekirjoihin tulee muutos.

### **4.3 Lentokoneella työskentelyn vaatimukset**

Laitetta käytetään lentokoneympäristössä mikä aiheuttaa muutamia rajoituksia ja asioita mitä pitää ottaa huomioon. Koneella suurella todennäköisyydellä tehdään samanaikaisesti paljon muitakin töitä: polttoaine-, hydrauliiikka- tai laskutelineidenhuoltoa. Nämä vain esimerkkinä mitä töitä koneella tehdään. Polttoainetyöt aiheuttavat suuren rajoituksen koneella työskentelylle, koska silloin ei saa koneeseen laittaa ollenkaan sähköjä päälle. Tällä menetelmällä varmistetaan, ettei kipinöintiä tapahdu säiliötilojen läheisyydessä, joka voisi aiheuttaa räjähdysten. Tässä tapauksessa koneelle ei voi mennä suorittamaan väylämittauksia. Jos asentajat tekevät hydrauliiikka töitä, esim. tarkastelevat hydrauliiikkaputkien tiiveyksiä, silloin on koneessa hydrauliiikkapaine päällä. Jos koneeseen pistetään sähköt päälle ja vahingossa ohjaamossa ollessaan liikuttaa ohjaussauvaa ohjainpinnat tällöin liikkuvat. Pahimmassa tapauksessa ohjainpinta voi osua johonkin koneella olevaan henkilöön, koska ohjainpinnat liikkuvat todella nopeasti ja niitä ei ehdi väistämään.

Koneella sähkölaitetta käytettäessä, joka toimii normaalin sähköverkon virralla, niin aina on käytettävä suojaerotusmuuntajaa. Tämä tulee väylämonitoria käytettäessä eteen, koska väylämonitoria käytetään kannettavalla tietokoneella. Suojaerotusmuuntajan käyttö ohjeistetaan yleisessä lentokonehuolto-ohjeessa. Tämä erottaa koneen muusta sähköverkosta, millä pyritään estämään mahdollisen oikosulun mahdollisuus, joka voisi aiheuttaa vaaratilanteen koneella.

Vikoja ilmaantuu yleensä koelennolla, jonka jälkeen vikoja selvitetään. Vianetsinnän aikana joudutaan irrottamaan laitteiden sähköliittimiä. Liittimen irrottamisen jälkeen joudutaan varmistamaan toiminta laitteen itse testauksella (BIT). Liittimen irrottaminen mitätöi koneelle tehdyt tarkastukset. Vianetsinnän lopetettua koneelle on tehtävä tarvittavat tarkastukset ennen kuin se voidaan lähettää takaisin lennolle. On paljon mahdollista liittimen takaisin kiinni laittamisessa, että jokin kosketinelementti vaurioituu. Tai kun liittimestä mittaa koskettimia yleismittarilla voi mahdollisesti mittapäällä vaurioittaa kosketinta, jonka takia mittauksista suorittaessa täytyy noudattaa erityistä varovaisuutta. Sama asia tulee eteen kytkettäessä väylämonitori koneeseen kiinni. Väylämonitori kytketään haaroittimella, jolloin väyläpäänteen liitin irtikytketään. Väylämonitorin kytkeminen kerrotaan luvussa 3.4. Tämä aiheuttaa testauksen väyläohjaimille (MC1 ja MC2), jotta voidaan varmistua että kone vianetsinnän osalta kunnossa.

Lentokonemaailmassa dokumentoidaan kaikki mitä koneelle tehdään. Lentokonehuollon vaatimusmäärittelyssä ja EN9100 standardissa on vaatimuksena säilyttää kaikki dokumentaatio 30 v. arkistossa. Tämä johtuu siitä että kaikki mitä koneelle on tehty, pitää olla jäljitettävissä. Tästä johtuen kun koneessa huomataan jokin vika, koneelle avataan sitä koskeva vikailmoitus. Vikailmoituksessa kerrotaan mahdollisimman tarkasti vian kuvaus. Ilmavoimissa käytetään huollon seurannassa LTJ (Lento Tekninen Järjestelmä) -järjestelmää. LTJ-järjestelmään luodaan huollot, vikailmoitukset, rakennekorjaukset ja TMT(Teknillinen Muutos Tiedote) -järjestelmän tehtävät. Järjestelmään avataan konetta koskeva vikailmoitus se vaihtaa koneen kuntoluokan automaattisesti. Konetta ei saa kuitattu lennolle ennen kuin vikailmoitus on käsitelty loppuun. Vikailmoituksessa on viankuvaus- ja korjausselitekentät. Korjausselitekenttää pitää vianetsinnässä kirjoittaa mahdollisimman yksityiskohtaisesti mitä kyseisen vian korjaamiseksi on tehty ja mitkä olivat korjaavat toimenpiteet. Esimerkiksi Väylämonitoria käytettäessä vikailmoitukseen on kirjoitettava kaikki avatut liittimet ja tässä tapauksessa väyläpäänteen

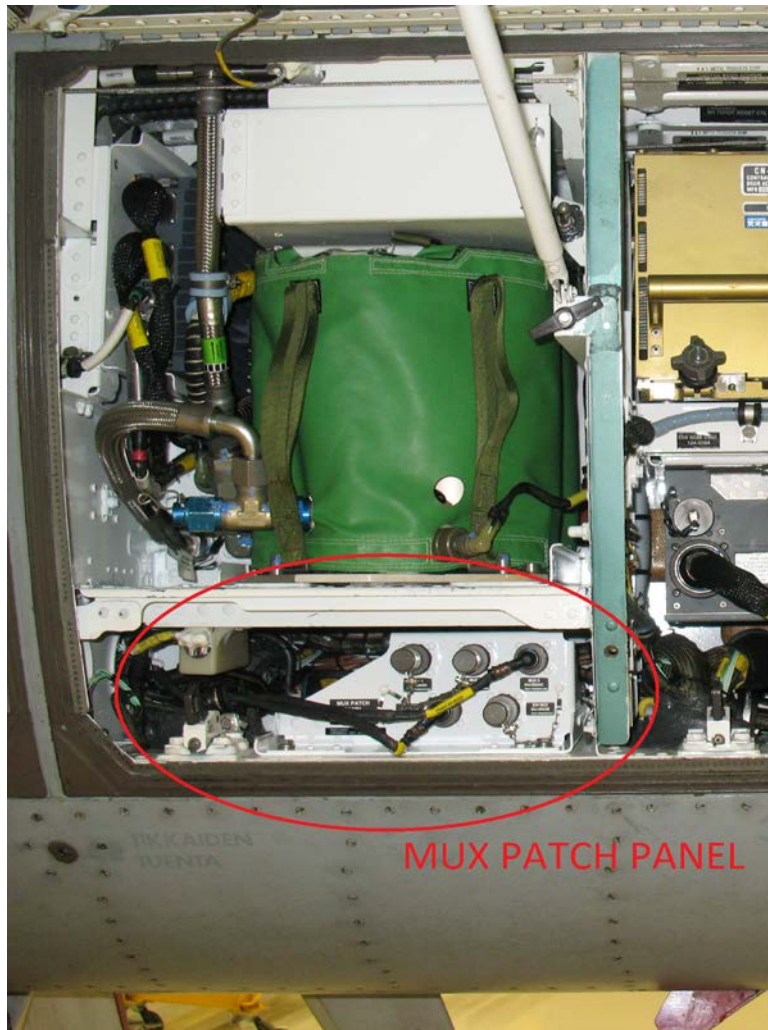
tunnukset. Tällä tavalla pystytään jälkikäteen selvittämään koska kyseiset liittimet ovat olleet viimeksi auki. Uudelle väylämonitorille on myös luotava tunnistetiedot LTJ järjestelmään, koska laite pitää myös merkitä LTJ:lle. Tällä tavalla pystytään jäljittämään missä viankorjauksissa väylämonitoria on käytetty.

#### 4.4 Liittyminen lentokoneen väylään

Tällä hetkelle Suomen ilmavoimilla on koneita kahdessa eri muutostasossa MLU1 ja MLU2. Koneen ohjelmistotasot ovat erilaiset: MLU1 tasoisessa koneessa on 19C väyläohjaimen ohjelmisto ja MLU2 koneessa 23X. Tästä johtuen koneissa on erilaiset muisti- ja väyläsanomat. Väyläohjainta käytettäessä on siis huomioitava kumman tasoisesta Access-tilistä lähtee selvittämään tarvittaman väyläsanoman referenssi – koodia. Kaikkien koneiden olisi tarkoitus olla MLU2 tasoisia vuoteen 2016 loppuun mennessä. Ennen vuotta 2016 tulee vielä uusi ohjelmistoversio 25X, joka pitää myös huomioida käytettäessä väylämonitoria.

Nämä kaksi eritasoista konetta asettaa myös haasteen väylään liittymiselle. MLU2 muutoksessa koneen oma tallennusjärjestelmä muuttuu monipuolisemmaksi kuin MLU1 koneessa. MLU1 koneessa pystytään tallentamaan pelkästään ohjaamonnäyttövideot tavallisilla videonauhureilla. MLU2 muutoksessa nämä videonauhurit poistuvat ja tilalle tulee USSR (Update Solid State Recorder). Tällä tallentimella nauhoitetaan näyttöjä digitaalisesti, eli vanhat videolinjat poistuvat kokonaan ja tilalle tulee Ethernet-yhteys näyttöjen ja tallennusyksikön välille. Tallentimella voidaan myös nauhoittaa väyläliikennettä kahdelta eri väylältä lennon aikana. Nämä pystytään valitsemaan huoltoluukusta (kuva 16), jossa on MUX PATCH paneeli. Paneelissa on kaikkien väylien liityntäpaikka paitsi aseväylän. USSR on kytkettynä 2-väylään, joten sitä nauhoitetaan automaattisesti. Kahteen väylään voidaan omavalintaisesti laittaa liittimet, jotka menevät USSR:lle. Muissa on kiinni tulppa jonka kautta väyläjohto kiertyy, jotta väylä toimii normaalisti. Paras ja helpoin paikka olisi liittyä väylämonitorilla koneen väylään kyseisestä paneelistä. Väylämonitoria varten tarvitaan haaroitus johto, jotta koneenväylä toimii väylämonitorin kanssa. Haaroitus johdolla saamme kytkettyä väylämonitorin väylään kiinni katkaisematta väylää. MLU1 koneessa ei ole samanlaista paneelia, jolloin väylään liittyminen on hankalampaa. Koneessa on väyläpäätteet, mutta ne on sijoitettu eripuolille konetta ja ne ovat erilaisilla liittimillä kuin MLU2 koneessa olevassa MUX

PATCH –paneelissa. Nykyisessä tilanteessa joutuisimme rakentamaa kaksi erilaista johtosarjaa eritasoisista koneista johtuen.



KUVA 16. MUX PATCH PANEL luukutilassa 13L

Lentokoneenväylään päästään väylämonitorilla liittymään haaroitin johdolla, jolloin monitori kytketään koneenverkoston ja väyläpäänteen väliin (Liite 1.) Väylämonitorin verkostoon ei tarvitse kuin kaksi eri johtosarjaa MLU1 ja MLU2 sarja. Väylämonitorissa pystyy nauhoittamaan kahta eri väylää yhtä aikaa, jolloin verkostoa ei tarvitse paljoa. Väylämonitoria käytettäessä on siis vaan tarkkaan tiedettävä mitä väylää ja sanomaa halutaan seurata. Verkoston liittimet ovat koneen puolella MIL-STD-38999-sarjan liittimiä eli moninapaliittimiä. Koneessa käytetään kierrettyä parikaapelia johtimina triaxiaali johdon sijasta. Koneeseen liitettävä MIL-STD-1553-väyläkortissa on yleensä aina triaxiaali liittimet. Tästä syystä verkostossa tarvitsee muuntaa triaxiaali johdin suojatuk- si parikaapeliksi. Tämän muutoksen pystyy muuttamaan FI-A1-F18-WRM-000 ohjeen mukaisesti. Tämä kytkentä on yleinen tapa lentokoneissa.

## 5 LAITTEISTO

### 5.1 Tietokoneen vaatimukset

Tietokoneen hankinnassa on tärkeintä, että koneeseen voidaan asentaa MIL-STD-1553-väyläkortti ja että tietokone on kannettava. Tietokonetta käytetään lentokoneella, jossa tehdään samanaikaisesti huoltotöitä. Tämän takia tietokone ei voi olla pöytäkone, koska koneen ympäristö on täynnä huoltotöissä tarvittavia varusteita. Tällöin ei ole mahdollista tuoda pöytäkoneita koneen vierelle. Koneita pitää pystyä liikuttelemaan koneen ympärillä, jolloin pöytäkone ei ole sopiva tähän tarkoitukseen huomioiden myös koekäyttötilanteen. Kannettavaan tietokoneeseen on oltava mahdollista asentaa 155-väyläkortti, jotta tietokoneella voidaan lukea tietoa väylältä. Väyläkortti siinä tapauksessa, jos USB-kaapelilla liittyminen ei ole mahdollista. Käyttöjärjestelmän vaatimus tulee väyläntalennus ohjelman myötä, joka on oletettavasti XP tai Vista.

Tietokoneella liitytään lentokoneen väylään, jossa liikkuu todella paljon dataa. Suurin osa on ihan yleistä, mutta osa luokitellaan salaiseksi. EW –väyländata on hyvä esimerkki salaisesta datasta, jota ei haluta ulkopuolisten tietoon. Nämä turvaluokitellut tiedot asettavat tiettyjä vaatimuksia kannettavalle tietokoneelle, jota koneella käytetään. Koneeseen on mahdollista tallentaa turvaluokiteltua dataa (TVL/2), jonka takia kone pitäisi säilyttää saman turvaluokituksen tasoissa kassakaapissa. Patrian ohjeistuksen mukaan tietokonetta voidaan käyttää TVL/3 tiloissa valvottuna, mutta säilytettävä TVL/2 tiloissa.

Koneen ohjelmistojen päivittämistä ei saa tehdä suoraan internetin kautta mahdollisten tietovuotojen takia. Koneita ei saisi missään nimessä yhdistää Internetin mahdollisten tietoturvahyökkäysten vuoksi. Käytännön kannalta tämä asettaa haasteita tietokoneen käytölle. Päivitetty ohjelmisto pitää ladata toisella koneella, jonka jälkeen siirtää se muistitikulla koneeseen. Patrian tietoturvamääräysten mukaan koneeseen ei saa kytkeä ihan mitä tahansa muistitikkuja, koska tikuissa on aina virusriski. Tietokoneeseen pitäisi nimetä vain tietty muistitikku, jolla tietoa voidaan siirtää koneesta toiseen. Muistitikun käyttö on määritelty Patrian turvallisuusmääräyksessä.

## 5.2 Kaapelit ja liittimet

Väyläkortin liittimet ovat TRIAX/TWINAX liittimiä ja lentokoneessa on MIL-DTL-38999 moninapaliittimet, joista koneen väylään liitytään. Koneeseen liittyminen vaatii TRIAX johtimen muuttamisen tavalliseksi johtimiksi eli suojatuksi parikaapeliksi. Kaapelin muuttaminen on ohjeistettu Ilmavoimien ohjekirjassa FI-A1-F18-WRM-000, joka on normaali korjaus/kytkentä tapa Hornet koneissa. Tarvitaan kahta erilaista johdin tyyppiä joiden on oltava impedanssisovitukseltaan yhteensopivia, koska muuten siirtolinjaan tulee epäsovituksia jolloin siirtolinja ei toimi oikein. Kaapeleiden impedanssi on määritelty kappaleessa 2.3, joka on 75 ohmia. Väyläkortin liittimet ovat TRIAX liittimiä joten tarvitaan TRIAX- johdinta ja liittimiä, jotka on esitetty kuvissa 17 ja 18.



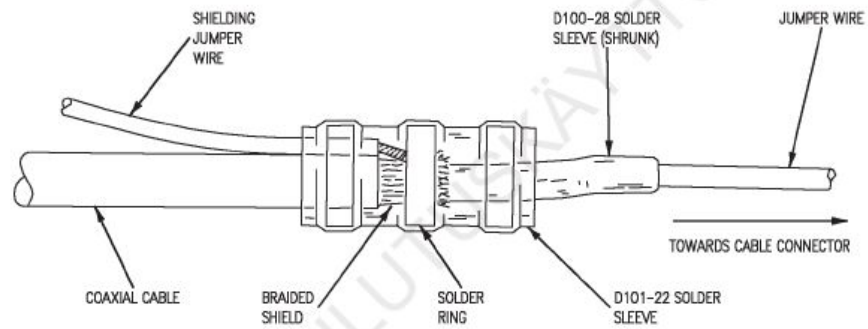
KUVA 17. TRIAX -liitin



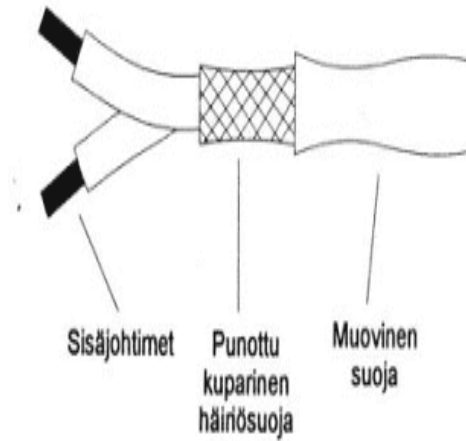
KUVA 18. TRIAX -kaapeli

Kesken siirtolinjan joudutaan vaihtamaan kaapelin tyyppiä, koska lentokoneessa olevat liittimet ovat MIL-DTL-38999 sarjan moninapaliittimiä (kuva 21) joihin ei ole suoraan mahdollista asentaa TRIAX -kaapelia. TRIAX -kaapeli pitää muuttaa tavalliseksi johtimiksi, mutta tavalliset johtimet pitää olla suojattuja (kuva 20). Tässä muutoksessa TRIAX johtimen keskimäinen johdin yhdistetään parikaapelin toiseen johtimeen, keskimäinen johdin toiseen johtimeen ja johtimen ylin kerros eli suojaus parikaapelin suojaverkkoon (kuva 19). Näin saadaan muutettua TRIAX kaapeli tavalliseksi johti-

meksi. Tämä kytkentä ei kuitenkaan heikennä siirtolinjaa, vaan on normaali toimenpide väyläteknikassa.



KUVA 19. Triax johdon muuttuminen tavalliseksi johtimiksi. (Hornet ohjekirjallisuus)



KUVA 20. Suojattu parikaapeli (Hornet ohjekirjallisuus)



KUVA 21. Moninapaliitin.

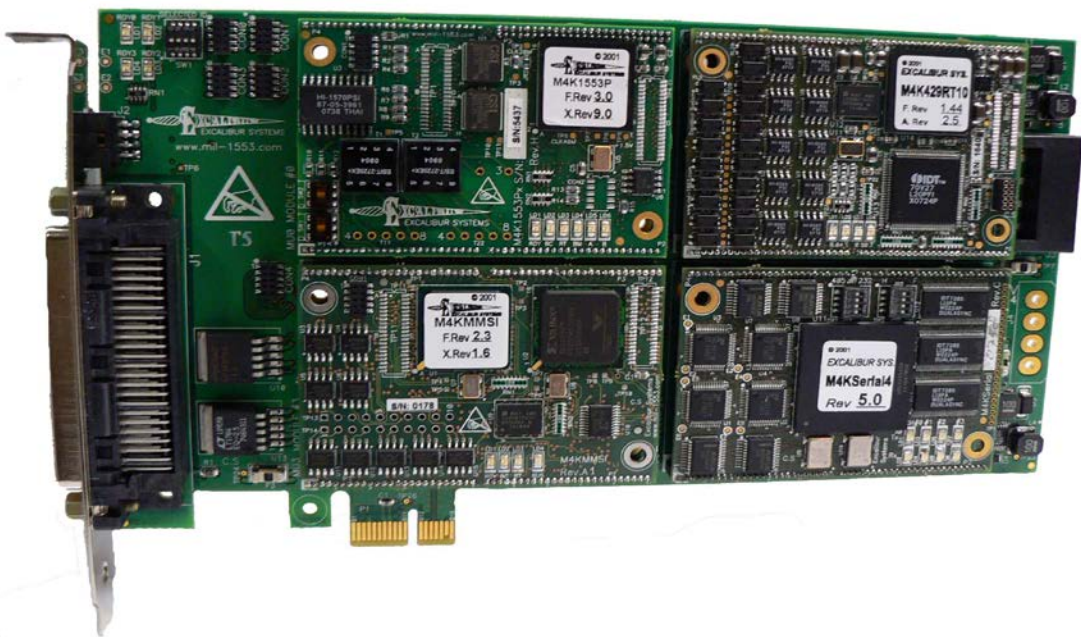


### 5.3 Väyläkortti

MIL-STD-1553-väyläkortteja löytyy markkinoilta paljon. Yksinkertaisimmissa pystyy seuraamaan vain yhtä väylää kerralla, kun monipuolisimmissa useampia väyliä yhtä aikaa. Patrian tarkoitukseen riittää hyvin yhden tai kahden väylän kortti. Erilaisia vaihtoehtoja löytyy markkinoilta paljon, ulkoisia kortteja, tietokoneeseen asennettavia kortteja, PCMCIA -kortti paikkaan sopivia sekä USB- kaapelilla liitettäviä väyläkortteja.



KUVA 22. PCMCIA 1553 väyläkortti (Excalibur)



KUVA 23. PC 1553 Excalibur System väyläkortti (Excalibur)



KUVA 24. USB liitännällä oleva väyläkortti. (Ballard)

Kuvissa 22, 23 ja 24 esitetyt väyläkortit ovat esimerkkejä väyläkorteista joita markkinoilla on saatavilla. Näistä kannettavan tietokoneen kanssa käytännöllisin on USB:llä liitettävä väyläkortti, ellei kannettavassa tietokoneessa ole PCMCI-kortti paikkaa. Sitä on helppo käyttää lentokone ympäristössä, koska se on pieni kokoinen. Ballard Technologyn (kuva 24.) USB –johdolla oleva väyläkortilla pystyy liittymään kahteen väylään. Sillä pystyy analysoimaan, testaamaan ja simuloimaan väylän toimintaa. Väyläkortin ominaisuudet ovat:

- Pystyy nauhoittaan 2 MIL-STD-1553-väylää
- 8 analogista sisään/ulostuloa
- Ei tarvitse erillistä virtalähdettä
- 32 MB muisti
- Pieni, kannettava ja vankka

PCMCI –väyläkortti on toiminnoiltaan ja käytettävyydeltään samanlainen kuin USB –väyläkortti. Huonona puolena PCMCI –kortin lukijoita voi olla hankalemmin saatavilla kannettaviin tietokoneisiin, koska PCMCI on poistuvaa teknologiaa. Tämä kortin lukija täytyy melkein aina erikseen tilata kannettavaan tietokoneeseen, joka aiheuttaa lisäkustannuksia tietokoneen hankinnalle. Tällä väyläkortilla pystytään liittymään kahteen eri väylään yhtä aikaa.

- Pystyy operoimaan kahdella väylällä yhtä aikaa
- Simulointitilassa pystyy olemaan väyläohjain
- Voi olla väylällä kolmessa eritilassa väyläohjain, etäterminaali ja väylämonitori.
- Korttia voidaan käyttää Windowsille Excalibur system's suunnittelemaa ohjelmistoa.
- Ohjelma toimii Windows 2000/XP/Vista

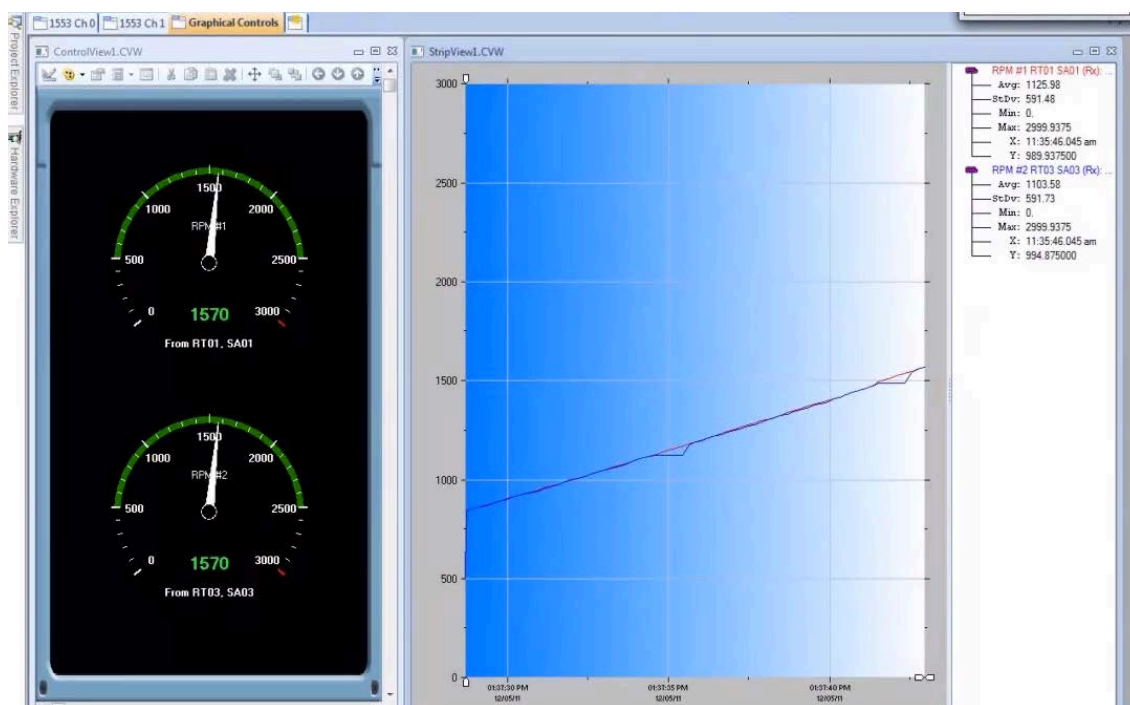
Excalibur System's PC väyläkortti on näistä kaikista kattavin toiminnoiltaan. Se voi toimia väyläohjaimena, etäterminaalina ja se voi monitoroida väylän liikennettä kaikilta väyliltä. Tämä kortti ei sovi kannettavaan tietokoneeseen, vaan siihen vaaditaan tehokkaamman PC:n johon kortin pystyy asentamaan. Väyläkortti on tarkoitettu enemmässä määrin laboratorio-olosuhteisiin, jossa pystytään testaamaan koneenjärjestelmiä. Esimerkiksi Patrialla Hornet -koneiden uudet ohjelmistot testataan laboratorio-olosuhteissa ennen konetestauksia.

#### 5.4 Ohjelmisto

Väyläkorttien valmistajat suosittelevat käyttämään niiden omia ohjelmistoja väyläkortteille. Mahdollista on myös käyttää väyläkorttia muiden ohjelmistojen kanssa, mutta siinä saattaa ilmaantua ongelmia ohjelman toimivuuden kannalta. Ohjelmiston kaikki ominaisuudet eivät välttämättä toimi eri valmistajan väyläkortilla. Ohjelmistoissa on erilaisia toimintoja millä lentokoneen väylän toimintaa voidaan tutkia.

- Reaaliaikainen seuranta
- Tallennetun tiedon simulointi

Simulointi tilassa ohjelmistolla pystytään tarkastelemaan tallennettua väyläliikennettä. Esimerkiksi jos halutaan tietää moottorin kierrosnopeuden käyttäytyminen tietyssä lentokorkeudessa. Tämä on esitetty kuvassa 25 ja käytettävästä ohjelmisto riippuen esitystapa on erilainen. Kuvan 25 simulointi tila on Ballard Technologyn Copilot ohjelmasta. Simulointitilassa näytölle saadaan valittua seurattavat parametrit ja esitystavan. Ohjelmaan on tehty yleiset lentokoneenmittarit, jotka ovat hyvin selkeitä ja helposti luettavia. Tai vaihtoehtoisesti parametrit saadaan esitettyä graafisena tietokoneen näytöllä.



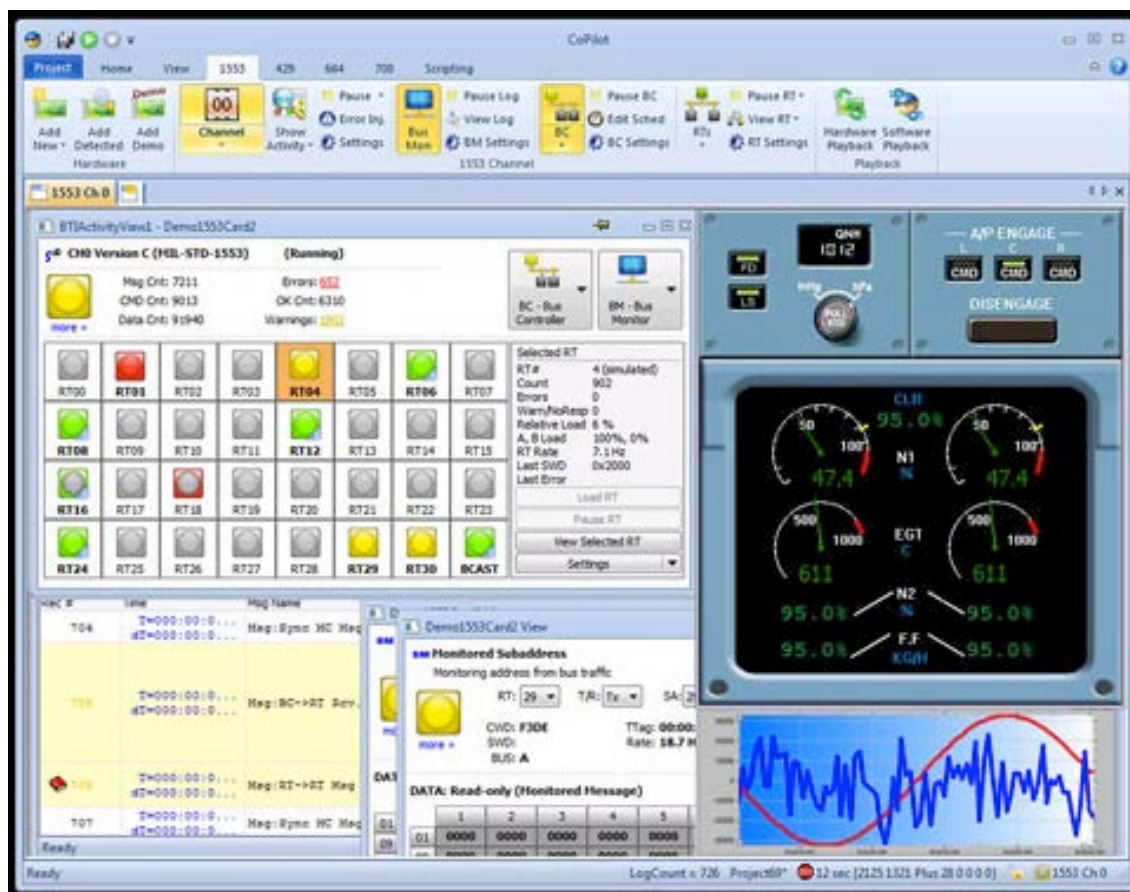
KUVA 25. Copilot ohjelmiston simulointitila. (Ballardtech)

Kuvan 25 ohjelman toiminnolla voidaan esimerkiksi lentokoneen koekäytössä seurata väylällä liikkuvaa tietoa, esim. moottorin kierroksia. Väylän toiminnan seuraaminen koekäytössä reaaliajassa vaatii konetyypistä riippuen erilaisia toimenpiteitä, jotta tämä on mahdollista. Esimerkiksi pienemmissä tai isommissa siviililentokoneissa kannettavatietokone voidaan ottaa ohjaamoon sisälle koekäytön ajaksi. Hävittäjäkoneissa tämä ei ole mahdollista vaan tietokone pitää viedä erilleen lentokoneesta tilanahtauden vuoksi. Reaaliaikaista väylän seurantaan tarvitaan maassa tehtävissä vianpaikannuksessa tai kun testataan esimerkiksi uuden ohjelmiston toimivuutta. Ohjelmasta valitaan mitattavat parametrit joita seurataan testauksen aikana. Ohjelmassa parametrien tulee olla helposti luettavissa niin kuin Copilot ohjelmassa on tehty.

Ohjelmalla pystytään tarkastamaan väylätallentimen tallentama data lennonjälkeen, jolloin saadaan data helposti ymmärrettävään muotoon. Kaikki tiedot saadaan havainnollistettua helposti luettaviin ja ymmärrettäviin mittareihin, joista arvot saa helposti selville. Huonona puolena ohjelmassa on tietenkin vain niin sanotuille lentokoneen perustiedoille saatava mittarisovellus. Tällaisia ovat esim. korkeus, nopeus, pystynopeus, kohtauskulma, ulkoilman lämpötila, moottorin lämpötila, moottorin kierrosluku ja keinohorisontti.

Ohjelmalla on pystyttävä analysoimaan tallennettua dataa yksityiskohtaisemmin kuin lentokoneen mittaritasolla. Hornetissa on niin paljon erilaisia järjestelmiä joita huollon aika testataan joko maakokeissa tai koelennolla. Kuten esimerkiksi asejärjestelmä, joka kehittyy kokoajan. MLU2 päivityksessä parannetaan Hornetin asejärjestelmiä. Uudet ilmasta maahan ohjukset liitetään MIL-STD-1760-väylällä koneen järjestelmiin. Tämän takia ohjelmassa on oltava tarkempi väylätiedon analysointimenetelmä. Ohjelmalla tulisi saada käsiteltävä data niin sanottuun insinööri muotoon. CoPilot ohjelmistolla datan pystyy lukemaan binääri-muodossa (insinöörimuoto) ja esimerkiksi tarkastellessa laskusiivekkeen asentotietoa ohjelma muuttaa binääritiedon suoraan asteluvuksi, joka nopeuttaa vianetsintä prosessia. Ohjelmalla tulisi voida luoda valmiita vianetsintä pohjia nopeuttamaan vianetsintää. Ohjelmaan tulisi voida tallentaa valmiiksi tietyt muistipaikat ja niiden asetukset, jotka olisi helppo ottaa käyttöön kun vianetsintää tehdään. Etäterminaalien nimet tulisi saada muutettua halutun mukaisiksi. Copilotin ohjelmassa etäterminaalit on nimetty RT01 ja niin edespäin, mutta helppokäyttöisyyden kannalta nimet tulisi voida muuttaa halutuiksi Hornetin järjestelmien mukaan. Esimerkiksi SMS (Store Management System), CSC (Control Converter System), ADC (Air Data Computer) ja DFIRS (Data Interface System). Nämä ovat sellaisia laitteita jotka yhdistävät analogisia laitteita Hornetin väylään. Eli toimivat etäterminaaleina Hornetin väylissä.

Ohjelman hallintapaneelinäytön tulee olla selkeä, jossa näkee yhtä aikaa kaikki väylällä olevat etäterminaalit. Niin kuin luvussa 2.2.2 on kerrottu, etäterminaali yhdistää alajärjestelmän laitteet väylään. Etäterminaali on yleensä jokin lentokoneen laitteista ja sen alla on lisää analogisia laitteita. Tässä kyseisessä näytössä tulee näkyä kaikki 32 etäterminaalia ja niiden tilan kyseisellä hetkellä. Etäterminaalien tilat pitää olla helposti havaittavissa, kuten esimerkiksi CoPilot:n ohjelmassa on tehty. Etäterminaalien tilat on jaoteltu väreillä erilaisiin tiloihin. Ne ovat vihreä, keltainen, punainen ja väritön. Vihreä tarkoittaa että etäterminaali ja sen kaikki alalaitteet ovat kaikki toiminnassa. Keltainen tarkoittaa että järjestelmä on päällä, mutta jokin osa kyseisestä etäterminaalin toiminnasta ei toimi oikein. Esimerkiksi jokin alalaitteista ei toimi tai etäterminaalin jokin osa ei toimi kunnolla, mutta se pystyy vielä toimimaan väylällä. Punainen tarkoittaa etäterminaalin vioittumista, jolloin etäterminaali ja sen alalaitteet ovat poissa väylän toiminnasta. Väritön tarkoittaa ettei etäterminaali ole päällä/toiminnassa.



KUVA 26. Ohjelmiston etäterminaali näkymä. (Ballardtech)

Copilot:n hallintapaneelinäyttö on hyvin selkeä, kuten kuvassa 26 on esitetty. Näytöstä näkee kaikki 32 etäterminaalia ja niiden toiminnan tilan. Valittaessa haluttu etäterminaali paneelin yläreunasta pystytään lukemaan etäterminaalissa liikkuvan datan määrän. Jos etäterminaalissa on jotain vialla ja sen tila on jokin muu kuin vihreä, näytössä nähdään mikä ei toimi. Etäterminaalien virhetoimintojen määrä nähdään samasta paikasta, jos etäterminaalien tila on keltaisena tai punaisena.

Haluttu etäterminaali saadaan yksityiskohtaisempaan analysointitilaan, josta nähdään etäterminaalien kytketyt analogiset järjestelmät. Etäterminaalien näytöllä analoginen laite näkyy kahdella eri tavalla, se on joko lähetys- (RX) tai vastaanottotilassa (TX). Yksilöikkunalla CoPilot ohjelmistossa käytetään samoja värikoodeja kuin etäterminaali näytöllä. Tällä tavoin on helppo havaita mitkä järjestelmät ovat toiminnassa (kuva 20). Vianetsinnän kannalta tämä on tärkeä tieto, kun ei voi olla varmoja onko alajärjestelmän laite viallinen vai etäterminaali itsessään joka välittää alajärjestelmän lähettämän tiedon koneen päätietokoneelle. Ilman väylätalenninta ainut tapa millä tämä voidaan testata koneella on vaihtaa laite yksikerrallaan, joka vie ylimääräistä aikaa vianetsinnässä.

Halutun etäterminaalin alajärjestelmän lähetys (RX)/vastaanotto (TX) ikonin avaamalla pääsee tarkastelemaan haluttua väyläliikennettä tarkemmin. Copilot ohjelmaan on tehty valmiita väyläsanomien muuntimia, jotka muuttavat väyläsanoman oikeaksi arvoksi. Esimerkiksi kohtauskulman asentotiedon tarkastaminen väylämonitorilla menisi seuraavasti:

1. Avataan etäterminaali näytöstä ADC (Air Data Computer) järjestelmän valikko.
2. ADC valikosta etsitään mikä on AOA (Angle Of Attack) sanoma (Kuva 27).
3. Valitaan TX/RX valinnoista TX, koska haluamme saada tiedon minkä AOA anturi lähettää.
4. Tämän jälkeen avautuu kuvan 28 mukainen näyttämä missä pystyy seuraamaan tiettyä väyläsanomaa.
5. Ohjelman datanmuunnos työkaluilla saamme valittua, että ohjelma näyttää AOA anturin lähettämän sanoman astelukuina.
6. Jos seurataan reaaliaikaisesti, AOA anturia liikuttamalla näytöstä näkee kuinka AOA anturi kertoo sen asennon koneen runkoon nähden astelukuna.

Tämä yksinkertaisuudessaan miten CoPilot ohjelmistolla tapahtuisi vianetsintä.

The screenshot shows the RT 01 interface with the following details:

- RT 01 (Running)**
- Msg Cnt: 36141, Errors: 0
- CMD Cnt A: 36141, CMD Cnt B: 0
- A, B Load: 100%, 0%, Warnings: 0
- Buttons: Back to RTs, RT 01
- Grid of SA buttons (SA01 to SA23) with Tx and Rx options. SA01 Rx is selected.
- Selected SA 1 Details:**
  - SA#: 1
  - Count: 36141
  - Errors: 0
  - Warn/NoResp: 0
  - Relative Load: 100 %
  - A, B Load: 0.0 Hz
  - SA Rate: 0.0 Hz
  - Last SWD: 0x0800
  - Last Error: (empty)
- Buttons: Load SA, Pause RT, View SA Details

KUVA 27. Etäterminaali näkymä (Ballardtech)

BTIActivityView1 - USBCard1 Card#4

**RT 01 (Running)**

Msg Cnt: 36290 Errors: 0  
 CMD Cnt A: 36290 CMD Cnt B: 0  
 A, B Load: 100%, 0% Warnings: 0

Back to RTs RT 01

Selected SA

USBCard1.CDV View - SA01RT01R

**RT01 SA01 (Rx)**  
 Running

RT: 01 T/R: Rx SA: 01

CWD: 0821 TTag: 00:02:01:43.578  
 SWD: 0800 Rate: 4.9 Hz  
 BUS: A

Settings

**DATA: Read-only (Receive SA)**

	1	2	3	4	5	6	7	8
01	4FD4	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
09	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
17	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
25	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000

**ENGINEERING UNITS:**

Name	Value	Units	Start Word	Start Bit	Width	Status
RPM #1	1277.25	RPM	1	1	16	

Edit Selected

KUVA 28. Etäterminaalin laitteen yksilönäyttö. (Ballardtech)



## 6 VÄYLÄTALLENTIMEN TOIMINNAN TOSITTAMINEN

### 6.1 Testaus

Laitteen hankinnan jälkeen täytyy määritellä laitteistoille testit, millä se tositetaan käyttöön ja että se täyttää lentokoneella työskentelyn vaatimukset. Laitteen testaus ei voi olla mikään vianetsintätilanne, vaan testaus pitää suorittaa sellaiselle järjestelmälle joka on etukäteen tositettu toimivaksi. Testipisteitä valittaessa pitää olla varma että kaikki toimii, jonka vuoksi voi tehdä johtopäätöksiä väylätallentimen testauksen yhteydessä. Huomaako se kaikki halutut asiat lentokoneen väylältä mitä testauksessa koetaan tarpeellisiksi? Testauksessa pitäisi pystyä kokeilemaan kaikki tarvittavat ominaisuudet, mutta ei kaikkia väylätallentimen ominaisuuksia. Valmistajasta riippuen ominaisuuksia voi olla paljonkin, joita Patrialla ei tarvita.

Ohjelman testaussuunnitelman tulisi koostua erilaisista testauksista, missä todennetaan erilaiset tapahtumat väyläliikenteessä. Tällaiset testaukset voisi olla seuraavanlaisia:

- Kytkintieto
- Laite ON/OFF
- Tiedonkeruuviesti
- Moottorin EGT (Exhaust Gas Temperature)
- Yleislähetysviesti MC:ltä etäterminaaleille
- Analoginen tieto etäterminaalilta
- Simulointitila
- Tallennus

Näitä testipisteitä suunniteltaessa valitaan jokin järjestelmä, johon testi suoritetaan. Listan testipisteet saadaan kaikki testattu, jos testaus suoritetaan moottorin valvontajärjestelmälle. Samalla tulee testattua reaaliaikainen seuranta, koska se pitää suorittaa koekäytön aikana. Haasteen kyseiseen mittaus tapahtumaan tuo lentokoneen koekäyttötilanne. Luukkutila 13L sijaitsee imuaukon vieressä, jossa MUX PATCH -paneeli sijaitsee. Koekäytössä moottoreiden ollessa käynnissä moottori imee itseensä ilmaa imuaukosta. Väylätallenninta ei voi pitää silloin imuaukon vieressä, jonka vuoksi väylätallentimen johtojen tarvitsee olla yli 4 m pitkät. Näillä johdoilla kannettava tietokone pystytään

sijoittamaan imuvaara-alueen ulkopuolelle. Patrialla koekäytöt suoritetaan koekäyttötalossa, jossa on erillinen valvontahuone. Väylätallentimen johdot kannattaa tehdä tarpeeksi pitkiksi, jotta väylätallenninta voidaan käyttää koekäyttötalon valvontahuoneesta. Tämä pitää huomioida kaapeleiden valmistuksen yhteydessä, koska kaapelit pitää joka tapauksessa valmistaa Patrialla. Väyläkortin johdot ovat normaalisti noin 1-1,5 metriä pitkät, mutta niin kuin luvussa 3.4 on kerrottu, lentokoneessa on erilaiset liittimet kuin väyläkortissa valmiina. Kaapeleiden valmistukseen tarvitsee tilata lisäksi MIL-DTL-38999 moninapaliittimiä.

## **6.2 Laitteiston hyväksyminen**

Laitteisto tarvitsee hyväksyä lentokonekäyttöön, joka tehdään erillisellä asiakirjalla Ilmavoimien TMT- järjestelmään. Laitteen käyttöönotosta laaditaan MT (muutostiedote)-asiakirja, jossa tiedotetaan laitteen käyttöönotosta. MT:n julkaisun jälkeen laite rekisteröidään Ilmavoimien järjestelmään ja sille luodaan tunnistetieto. Samalla asiakirjassa otetaan kantaa tarvitseeko laitteisto kalibroida tietyin väliajoin.

MT:hen tulee laitteiston tiedot valmistajasta, osanumero, sarjanumero, käyttöönottopäivä ja otetaan kantaa laitteiston ohjeistukseen. Määritetään käyttöohjeen numero tai otetaan kantaa pitääkö laitteelle tehdä oma ohje, joka on tehty Hornet -koneelle. Tätä ei välttämättä tarvitse tehdä, koska ne jotka laitteistoa tulevat käyttämään koulutetaan erikseen jolloin niin sanottua jokamiehen ohjetta ei välttämättä tarvita.

Samalla MT:ssä otetaan kantaa siihen tarvitaanko kyseinen laite jokaisessa joukko-osastossa. Tämä tietysti lisää hankintahintaa, koska Ilmavoimilla on kolme eri joukko-osastoa joissa Hornetteja huolletaan. Ilmavoimien joukko-osastoissa ei normaalisti suoriteta niin massiivisia testauksia kuin Patrialla. Jossain tapauksissa vianetsintöjä suoritetaan lennostoissa, jos kone vikaantuu lentopalveluksessa.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä on käsitelty MIL-STD-1553-väylästandardin vaatimuksia ja toimintaa. Minkälaisia viestejä väylällä liikkuu ja mikä laite väylällä määrää toimintaa. Työssä on otettu myös kantaa siihen, että väylätekniikka on tulevaisuutta. Väylätekniikkaa on enemmän ja enemmän käytössä lentokoneissa, ja myös muualla teollisuudessa materiaalin säästämisen vuoksi.

Väylätekniikka on siis nykypäivää ja hyvällä väylämonitorilla voidaan säästää paljon rahaa, jos sitä osataan käyttää oikein. Turhat laitevaihdot jäävät vähäisiksi ja kunnossa olevia laitteita ei lähetetä laitekorjaamoille, joissa niistä yritetään viikkoja etsiä vikaa turhaan. Turhien laitevaihtojen tekemisen väylämonitorin hankkiminen estäisi. Aika, joka vian selvittämiseen kuluu väylämonitorilla verrattuna laitteiden vaihtoon, on todella pieni. Kuinka nopeasti väylämonitoria opitaan käyttämään tehokkaasti? Vai meneekö vianetsinnässä kaikki aika oikeiden väyläsanomien etsimiseen? Vianetsinnät tapahtuvat yleensä aina siinä kiireisimmässä vaiheessa koneenhuoltoa eli koelentojen yhteydessä. Koneen järjestelmät joutuvat suurimpaan rasitukseen juuri koelennon aikana. Yleensä tässä vaiheessa koneen sovittuun luovutuspäivään on aikaa muutama päivä. Tietenkin koneen luovutusta siirretään eteenpäin, jos kone ei ole kunnossa. Luovutuspäivän siirto aiheuttaa lisäkustannuksia Patrialle ja myös asiakkaalle. Kone ei ole sovittuna päivänä asiakkaalla käytössä. Koneille on yleensä valmiit suunnitelmat mihin harjoitukseen se siirretään suoraan huollosta. Patrialle sovittujen aikataulujen ylitys aiheuttaa lisää kustannuksia ja myös sen että uutta konetta ei aina voida ottaa huoltoon, jos kaikki huolto-paikat ovat täynnä.

Riittääkö Patrian Hornet huolto-osastolla tekninen tietämys laitteen käyttöön? Pitääkö henkilöstöä kouluttaa lisää, jos kyseinen laite hankitaan? Tulevaisuutta pitää ajatella myös, koska jo tämän vuoden aikana Ilmavoimissa otetaan käyttöön uusi ohjelmistoversio 25X. Tuleeko uusia vikatilanteita joita tarvitsee selvittää ohjelmiston käyttöönoton yhteydessä? 23X ohjelmiston käyttöönotossa oli aika paljon erilaisia vikatilanteita missä olisi tarvittu väylämonitoria. Kyseisistä vikatapauksista selvittiin ilman väylämonitoria, mutta varmasti monessa tilanteessa se olisi helpottanut työskentelyä.

Väylämonitorin hankintaa miettiessä tulisi selvittää mitkä ovat todelliset kustannukset, jotta voidaan päätellä onko väylämonitorin hankinta kannattava. Uudet ohjelmistoversi-

ot testataan Patrialla Hornetin testipenkissä, mutta monen vuoden kokemus on osoittanut testipenkissä olevan eroavaisuuksia lentokoneeseen verrattuna. Tämän perusteella voi todeta väylämonitorin hankinnan olevan hyödyllinen. Tulevaisuutta ajatellen kun aika ajaa ohitse nykyisestä hävittäjäkalustosta väylämonitorointi tulee entistä tärkeämmäksi. Patrialla pystyttäisiin valmistautumaan tulevaan omaamalla kokemusta väylämonitorin käytöstä mitä tällä hetkellä ei juuri ole.

## LÄHTEET

Aim GmbH 2010. MIL-STD-1553 Tutorial PDF. Milbus yleisesittely tulostettu 01.09.2013: [www.aim-online.com/pdf/OVIEW1553.pdf](http://www.aim-online.com/pdf/OVIEW1553.pdf)

Alkkiomäki, E 2009. MIL-STD-1553:n soveltaminen teollisuuden turva-automation, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto

Ballard Technology, laite- ja ohjelmistoesittely. Luettu 01.03.2014: <http://www.ballardtech.com/default.aspx>

Excalibur system, Laite-esittely, Luettu 01.03.2014: <http://www.mil-1553.com/>

Hornet ohjekirjallisuus A1-F18-FIM-100, A1-F18-FIM-110, A1-F18-WRM-000.

Ilmavoimat, F18-Hornet yleisesittely. Luettu 10.10.2013: [www.puolustusvoimat.fi](http://www.puolustusvoimat.fi)

Patria-konsernin esittely. Patrian kotisivu. Luettu 10.10.2013: [www.patria.fi](http://www.patria.fi)

U:S Department of Defense: MIL-HDBK-1553A, multiplier applications handbook, 1988. 682 s. Tulostettu 01.09.2013: <http://www.ballardtech.com/Tutorials/Ballard%20Technology%20-%20MIL-HDBK-1553A-Notice2.pdf>

# LIITTEET

Liite 1. KytKentäkuva

